

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN – TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA



TESIS

**“Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación,
floculación y sedimentación del botadero municipal
de la provincia de Moyobamba – 2016”**

PRESENTADO POR:

Bach. Stánler Irigoín Vásquez

Bach. Junior Eduardo Zaldivar Díaz

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO**

ASESOR:

Ing. M. Sc. Santiago Alberto Casas Luna

CO – ASESOR:

Ing. M. Sc. Yrwin Francisco Azabache Liza

Código N° 06052316

Moyobamba - Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

Teléf. 524253 – 522544 – Fax 524253 – Apartado 239

CONSEJO UNIVERSITARIO

Ley Universitaria N° 30220

Resolución N° 334-2016-UNSM/CU-R/NLU Tarapoto, 22 de julio del 2016

Visto el Expediente N° 2397-2016/SG, que contiene la Carta N° 101-2016-UNSM/VR.INV, Informe N° 003-2016/UNSM-OINV, sobre Resultados de Concurso de Proyectos de Investigación Científica – Tecnológica e Innovación para Tesis a Nivel de Pre-grado financiado por la UNSM-T - Periodo 2016.

CONSIDERANDO:

Que, la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto es una Institución descentralizada, autónoma con personería jurídica de derecho público interno; se rige por la Constitución Política del Estado, la legislación universitaria vigente, el presente Estatuto y su Reglamento General. Su personería y representación legal la ejerce el Rector y dentro de unos de sus fines está, formar profesionales humanistas, científicos y con excelencia académica competitiva, para los cambios del desarrollo de la región y del país, para así promover, organizar, realizar y difundir los resultados de la investigación en las áreas de humanidades, ciencias, arte y tecnología acorde a la realidad regional y nacional, con el objeto de viabilizar alternativas eficientes y eficaces para su desarrollo y transformación socioeconómica;



Que, la Investigación Científica, Tecnológica e Innovación es función inherente a la Universidad, constituye actividad fundamental para la enseñanza proyección social y extensión universitaria; por lo tanto, la dedicación a esta, tiene carácter obligatorio para profesores y estudiantes, se sustenta en los principios de autonomía Académica y de integración curricular, responde a iniciativas de los estamentos de la UNSM-T y se planifica según los problemas y necesidades locales, regionales y nacionales, siendo parte integrante de los currículos de formación Académico-Profesional. Asimismo, la Investigación Científica, Tecnológica e Innovación tiene una función social básica, porque está orientada a articular esfuerzo, formar y desarrollar recursos humanos y materiales para contribuir a la transformación de la realidad regional amazónica, nacional e internacional;



Que, mediante Informe N° 003-2016/UNSM-OINV, el Director de la Oficina de Investigación de la UNSM-T remite a la Vicerrectora de Investigación de la UNSM-T los Resultados del Concurso de Proyectos de Investigación Científica – Tecnológica e Innovación para tesis a nivel de Pre-grado financiado por la UNSM-T Periodo 2016, para su aprobación mediante acto resolutivo.



Que, con la Carta N° 101-2016-UNSM/VR.INV la Vicerrectora de Investigación de la UNSM-T deriva al Señor Rector de la UNSM-T el Informe N° 003-2016/UNSM-OINV, sobre los Resultados del Concurso de Proyectos de Investigación Científica - Tecnológica e Innovación para Tesis a nivel de Pre-grado financiados por la UNSM-T periodo 2016, para su aprobación en Sesión de Consejo Universitario;

Estando a lo acordado en Sesión Ordinario de Consejo Universitario de fecha 19-07-2016 y en uso de las atribuciones conferidas por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto y Reglamento de la UNSM-T;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Aprobar, los Resultados del Concurso de Proyectos de Investigación Científica - Tecnológica e Innovación para Tesis a Nivel de Pre-grado financiados por la UNSM-T Periodo 2016, según el resultado final de la evaluación del Jurado Externo; con un presupuesto general de DOSCIENTOS CINCUENTA MIL Y 00/100 SOLES (S/.250,000.00), de acuerdo al Informe N° 003-2016-UNSM-OINV presentado por el Director de la Oficina de Investigación de la UNSM-T que se anexa a la presente resolución; como sigue:

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

Teléf. 524253 – 522544 – Fax 524253 – Apartado 239

CONSEJO UNIVERSITARIO

Ley Universitaria N° 30220

Resolución N° 334-2016-UNSM/CU-R/NLU Tarapoto, 22 de julio del 2016

Orden de mérito concurso de proyectos de investigación científica – tecnológica e innovación para tesis a nivel de pregrado, financiado por la UNSM-T periodo 2016

| Nro. | Orden | Proyecto | Tesista(s) | Asesor | Facultad | Puntaje |
|------|-------|---|---|---------------------------------|----------|---------|
| 1 | | Obtención y evaluación de productos de látex de shiringa (<i>Hevea brasiliensis</i>), en el distrito de Chazuta - San Martín | -Francis Murrieta Acuña | Jaime Guillermo Guerrero Marina | FIAI | 16.33 |
| 2 | 1 | Tasa de erradicación del <i>Helicobacter Pylori</i> con la adición de antioxidantes (Vit C y E) como tratamiento adyuvante a la Terapia Triple Standard en pacientes del Área de Gastroenterología del Hospital Essalud II- 2. Tarapoto. Julio-Noviembre.2016 | -Wildor Samir Cubas Lalle | Heriberto Arévalo Ramírez | FMH | 16.33 |
| 3 | | Sistema Informático web para mejorar la aplicación del test psicológico Raven en niños con necesidades educativas especiales del C.E. Básica Especial N° 0001, Distrito de Tarapoto | -Selene Ayde Leveau Insapillo | Pedro Antonio Gonzáles Sánchez | FISI | 15.67 |
| 4 | 2 | Estrategia de tecnología de información en la gestión del trámite documentario de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, 2016 | -Pedro Pablo Espinoza Ruiz | John Antony Ruiz Cueva | FISI | 15.67 |
| 5 | | Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba – 2016 | -Stánler Irigoín Vásquez -Junior Eduardo Zaldívar Díaz | Santiago Alberto Casas Luna | FECOL | 15.67 |
| 6 | | Impacto de una solución de inteligencia de negocios en los resultados del patrullaje integrado PNP – Serenazgo en la jurisdicción de la Comisaría PNP Tarapoto | -Mauro Rubén Flores Flores | Miguel Ángel Valles Coral | FISI | 15.33 |
| 7 | 3 | Solución web con tecnología de red de sensores para el monitoreo de los parámetros básicos de la calidad del agua en el río Shilcayo | -Erick Napanga Paredes | Pedro Antonio Gonzáles Sánchez | FISI | 15.33 |
| 8 | | Depresión neonatal: factores de riesgo obstétricos predisponentes en el Hospital Amazónico - Pucallpa y Hospital II-2 MINSA-Tarapoto. Enero – Julio 2015 | -Leslie Carol Granda Guerra | Rosa Ríos López | FCS | 15.33 |
| 9 | 4 | Factores de riesgo asociados a la neuropatía periférica en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. Uso del monofilamento. Hospital II – 2 Tarapoto. Julio a Noviembre 2016 | -Roberto Carlos Tafur Navarro | Jorge Humberto Rodríguez Gómez | FMH | 15.00 |



Formato de autorización **NO EXCLUSIVA** de la publicación de trabajos de investigación, conducente a optar por el Repositorio Digital de Tesis

la publicación de trabajos de investigación y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

| | | | | |
|----------------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|
| Apellidos y nombres: | IRIBOIN VÁSQUEZ STANLEY | | | |
| Código de alumno : | 115226 | Teléfono: | 951991509 | |
| Correo electrónico: | stanley-iv@hotmail.com | | DNI: | 41519947 |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

| | |
|-------------------------|----------------------|
| Facultad de: | ECOLOGÍA |
| Escuela Profesional de: | INGENIERÍA SANITARIA |

3. Tipo de trabajo de investigación

| | | | |
|------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| Tesis | (X) | Trabajo de investigación | () |
| Trabajo de suficiencia profesional | () | | |

4. Datos del Trabajo de investigación

| | |
|---------------------|---|
| Titulo: | "CLARIFICACIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LIXIVIADOS MEDIANTE PROCESOS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN DEL BOTADERO MUNICIPAL DE LA PROVINCIA DE MOYOBAMBA-2016" |
| Año de publicación: | 2018 |

5. Tipo de Acceso al documento

| | | | |
|-----------------------|-----|---------|-----|
| Acceso público * | (X) | Embargo | () |
| Acceso restringido ** | () | | |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

| |
|--|
| |
| |
| |

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

10 / 01 / 2018




Firma de Biblioteca

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducente a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

| | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------------------|-----------|
| Apellidos y nombres: | ZALDIVAR DIAZ JUNIOR EDUARDO | | |
| Código de alumno : | 155220 | Teléfono: | 920308054 |
| Correo electrónico: | eduardo5@artlon.com | DNI: | 42800914 |

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Facultad de: | ECOLOGÍA |
| Escuela Profesional de: | INGENIERÍA SANITARIA |

3. Tipo de trabajo de investigación

| | | | |
|------------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| Tesis | (X) | Trabajo de investigación | () |
| Trabajo de suficiencia profesional | () | | |

4. Datos del Trabajo de investigación

| | |
|----------------------------|---|
| Título: | CLARIFICACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LIXIVIADOS MEDIANTE PROCESOS DE COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN DEL BOTADERO MUNICIPAL DE LA PROVINCIA DE MOYOBAMBA - 2016* |
| Año de publicación: | 2018 |

5. Tipo de Acceso al documento

| | | | |
|-----------------------|-----|---------|-----|
| Acceso público * | (X) | Embargo | () |
| Acceso restringido ** | () | | |

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

| |
|--|
| |
| |
| |

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

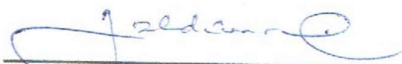
7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".


Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

10 / 01 / 2018




Firma de Biblioteca

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO
FACULTAD DE ECOLOGÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria



ACTA DE SUSTENTACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las **seis de la tarde del día martes 12 de diciembre** del **dos mil diecisiete**, se reunió el jurado de tesis integrado por:

| | |
|--|-------------------|
| Ing. M.Sc. MIRTHA FELÍCITA VALVERDE VERA | PRESIDENTE |
| Ing. ALFONSO ROJAS BARDALEZ | SECRETARIO |
| Blgo. M. Sc. ALFREDO IBAN DÍAZ VISITACIÓN | MIEMBRO |
| Ing. M.Sc. SANTIAGO ALBERTO CASAS LUNA | ASESOR |

Para evaluar la sustentación de la tesis titulado **“Clarificación fisicoquímica de lixiviados mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba, 2016”**; presentado por los Bachilleres en Ingeniería Sanitaria **Stánler Irigoín Vásquez y Junior Eduardo Zaldivar Díaz**, según resolución **N° 0226-2016-UNSM/FE-CO de fecha 22 de Setiembre del 2016**.

Los señores miembros del jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran: **APROBADO** por **UNANIMIDAD** con el calificativo de: **MUY BUENO** y nota **DIÉCISEIS (16)**

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las **19:50** horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.


Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera
Presidente


Ing. Alfonso Rojas Bardalez
Secretario


Blgo. M.Sc. Alfredo Iban Díaz Visitación
Miembro


Ing. M.Sc. Santiago Alberto Casas Luna
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, que nos ilumina cada día y nos provee sabiduría para entender y solucionar los problemas de nuestro medio.

A mi madre que desde el cielo me guía y por ser la mejor de entre las mejores y por tanto y tanto amor que me diste; a mi padre y hermanos por su apoyo desinteresado en mi formación personal y profesional.

Stánler

A la memoria de mi padre y abuela que partieron sin partir, y quienes pese a estar siempre conmigo, me siguen haciendo mucha falta.

A mi madre y hermanas por todo el apoyo, y el interés mostrado en la realización de esta carrera.

A mi inquebrantable esposa y a mis hijos, quienes siempre están conmigo en las buenas y malas, y que son el motor de mi vida.

Junior Eduardo

AGRADECIMIENTO

Con verdadera ternura y gratitud a nuestros queridos padres, familiares, y a los docentes de la UNSM FECOL quienes de una u otra manera nos impartieron sus conocimientos, en particular a nuestros asesores Ing. Ms.C. SANTIAGO ALBERTO CASAS LUNA, Ing. Ms.C. YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA, y en general a todos aquellos sin cuya colaboración hubiese sido imposible terminar este trabajo.

LOS AUTORES

ÍNDICE

| | |
|---------------------|------|
| CARÁTULA..... | i |
| HOJA EN BLANCO..... | ii |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO..... | viii |
| ÍNDICE..... | ix |
| RESUMEN..... | xv |
| ABSTRACT..... | xvi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

| | |
|--|---|
| 1.1. Planteamiento del problema | 2 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 3 |
| 1.3. Objetivos..... | 3 |
| 1.3.1. Objetivo general..... | 3 |
| 1.3.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.4. Justificación de la investigación | 4 |

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 5 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 8 |
| 2.2.1. Los lixiviados..... | 8 |
| 2.2.2. Parámetros físicos – químicos de los lixiviados | 15 |
| 2.2.3. Tratamiento físico – químico..... | 17 |
| 2.2.4. Valores máximos admisibles y límites máximos permisibles | 28 |
| 2.2.5. Descripción del área de estudio | 29 |
| 2.3. Definición de términos básicos..... | 31 |

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

| | |
|---|----|
| 3.1. Hipótesis de investigación | 34 |
| 3.2. Sistema de variables..... | 34 |
| 3.3. Tipo y nivel de investigación..... | 35 |
| 3.4. Diseño de la investigación..... | 35 |
| 3.5. Población y muestra | 35 |

| | |
|---|----|
| 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 35 |
| 3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos..... | 54 |

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

| | |
|--|----|
| 4.1. Diseño general de planta de tratamiento a escala | 56 |
| 4.2. Caracterización fisicoquímica del lixiviado crudo (Nativo)..... | 58 |
| 4.3. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO ₅ en el mes de febrero | 58 |
| 4.4. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO ₅ en el mes de abril | 61 |
| 4.5. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO ₅ en el mes de mayo..... | 63 |
| 4.6. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO ₅ en el mes de junio | 65 |
| 4.7. Eficiencias en la disminución de turbiedad y DBO ₅ – II etapa | 68 |
| 4.8. Comprobación de la hipótesis..... | 70 |
| 4.9. Discusión de resultados | 73 |
| CONCLUSIONES | 76 |
| RECOMENDACIONES | 78 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 79 |
| ANEXOS..... | 84 |

Lista de siglas y abreviaturas

AA. HH: Asentamiento humano

pH: Potencial de hidrógeno

DQO: Demanda química de oxígeno

DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno

COT: Carbono orgánico total

VMA: Valores máximos admisibles

LMP: Límites máximos permisibles

SST: Sólidos suspendidos totales

UNT: Unidad nefelométrica de turbiedad

RPM: Revoluciones por minuto

ANA: Autoridad nacional del agua

RR. SS: Residuos sólidos

RSU: Residuo sólido urbano

ECAS: Estándares de calidad ambiental

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales

DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: % desechos sólidos municipales en países industrializados..... | 8 |
| Tabla 2: Composición de los lixiviados..... | 14 |
| Tabla 3: Clasificación de los lixiviados..... | 14 |
| Tabla 4: Alcalinidad requerida para la coagulación..... | 22 |
| Tabla 5: El pH óptimo de los coagulantes..... | 23 |
| Tabla 6: Valores del gradiente de velocidad..... | 24 |
| Tabla 7: Índice de Wilcomb..... | 25 |
| Tabla 8: Valores máximos admisibles (VMA)..... | 28 |
| Tabla 9: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público..... | 29 |
| Tabla 10: Operacionalización de la variable independiente..... | 34 |
| Tabla 11: Operacionalización de la variable dependiente..... | 34 |
| Tabla 12: Métodos de ensayo..... | 36 |
| Tabla 13: Dimensionamiento del aireador..... | 42 |
| Tabla 14: Caracterización físico química del lixiviado crudo por meses..... | 58 |
| Tabla 15: Caracterización de la muestra I etapa – febrero – 2017..... | 58 |
| Tabla 16: Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – febrero – 2017..... | 59 |
| Tabla 17: Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – febrero – 2017..... | 60 |
| Tabla 18: Caracterización de la muestra I etapa – abril – 2017..... | 61 |
| Tabla 19: Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – abril – 2017..... | 61 |
| Tabla 20: Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – abril – 2017..... | 62 |
| Tabla 21: Caracterización de la muestra I etapa – mayo – 2017..... | 63 |
| Tabla 22: Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – mayo – 2017..... | 63 |
| Tabla 23: Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – mayo – 2017..... | 64 |
| Tabla 24: Caracterización de la muestra I etapa – junio – 2017..... | 65 |
| Tabla 25: Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – junio – 2017..... | 66 |
| Tabla 26: Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – junio – 2017..... | 67 |
| Tabla 27: Eficiencias para turbiedad – II etapa..... | 68 |
| Tabla 28: Eficiencias para DBO ₅ – II etapa..... | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diferencia significativa mínima para la dosis de coagulante | 6 |
| Figura 2. Composición de los lixiviados..... | 10 |
| Figura 3. Generación de lixiviados..... | 11 |
| Figura 4. Origen de algunos compuestos en los lixiviados..... | 12 |
| Figura 5. Aparato agitador para la prueba de jarras..... | 25 |
| Figura 6. Área de disposición final de residuos sólidos de Moyobamba – Perú..... | 30 |
| Figura 7. Imagen satelital del botadero municipal de Moyobamba..... | 30 |
| Figura 8. Esquema metodológico del proceso de investigación..... | 38 |
| Figura 9. Tanque de 208L..... | 39 |
| Figura 10. Componentes internos del sedimentador..... | 39 |
| Figura 11. Sedimentador primario..... | 40 |
| Figura 12. Tee de entrada al tanque de aireación..... | 41 |
| Figura 13. Difusores de aire..... | 41 |
| Figura 14. Tanque de aireación..... | 44 |
| Figura 15. Floculador biológico..... | 45 |
| Figura 16. Bombas de aireación..... | 46 |
| Figura 17. Inicio del proceso de tratamiento..... | 47 |
| Figura 18. Tuberías difusoras..... | 47 |
| Figura 19. Orificios de la tubería difusora..... | 48 |
| Figura 20. Sistema de aireación..... | 48 |
| Figura 21. Homogeneidad de la aireación..... | 49 |
| Figura 22: Muestreo in situ..... | 49 |
| Figura 23: Lixiviado del botadero municipal..... | 50 |
| Figura 24: Muestra de lixiviado crudo..... | 50 |
| Figura 25. Extracción de sosa..... | 51 |
| Figura 26. Titulación de la sosa..... | 51 |
| Figura 27. Materiales y reactivos para la titulación..... | 52 |
| Figura 28. Sosa neutralizada..... | 52 |
| Figura 29. Equipo de prueba de jarras utilizado..... | 53 |
| Figura 30. Diseño general experimental del tratamiento..... | 57 |
| Figura 31. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – febrero – 2017..... | 59 |
| Figura 32. Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – febrero – 2017..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 33. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – abril – 2017..... | 61 |
| Figura 34. Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – abril – 2017..... | 62 |
| Figura 35. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – mayo – 2017..... | 64 |
| Figura 36. Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – mayo – 2017..... | 65 |
| Figura 37. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – junio – 2017..... | 66 |
| Figura 38. Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa – junio – 2017..... | 67 |
| Figura 39. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa..... | 68 |
| Figura 40. Eficiencias para disminución de DBO ₅ II etapa..... | 69 |
| Figura 41. Entrada al botadero municipal de la provincia de Moyobamba..... | 85 |
| Figura 42. Residuos orgánicos e inorgánicos..... | 85 |
| Figura 43. Generación de lixiviado crudo..... | 85 |
| Figura 44. Muestra de 208L..... | 86 |
| Figura 45. Reciclaje informal..... | 86 |
| Figura 46. Planta de tratamiento a escala..... | 86 |
| Figura 47. Sedimentador primario (tanque de 208L)..... | 87 |
| Figura 48. Lixiviado crudo en tanque..... | 87 |
| Figura 49. Aireador..... | 87 |
| Figura 50. Aireador y floculador..... | 88 |
| Figura 51. Muestras en crudo y con pre tratamiento..... | 88 |
| Figura 52. Reactivos utilizados para las pruebas..... | 89 |
| Figura 53. Preparación de solución de Al ₂ (SO ₄) ₃ .14H ₂ O..... | 89 |
| Figura 54. Test de jarras..... | 89 |
| Figura 55. Resultado de medición..... | 89 |

RESUMEN

La disposición definitiva de los residuos sólidos es, uno de los problemas más impactantes que afectan a las sociedades del mundo en términos ambientales. El crecimiento demográfico ocasiona un incremento en la demanda de servicios de limpieza, y la generación de elevadas cantidades de residuos sólidos, los que posteriormente en contacto con el agua generan lixiviados, estos últimos se constituyen en fluidos muy contaminados, que deben ser tratados antes de ser vertidos a un sistema de alcantarillado o a un cuerpo receptor de agua. Ante esta problemática el presente trabajo se ha enfocado en la búsqueda de una alternativa de solución a través del tratamiento fisicoquímico del lixiviado generado por el botadero municipal de la provincia de Moyobamba, que consiste en la remoción de partículas suspendidas por acción de dos productos por separado el sulfato de aluminio tipo A y el cloruro férrico, mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Los elementos para el éxito de este proceso han sido determinar la dosis óptima del coagulante y el pH óptimo al que ocurre la mayor remoción de turbidez y DBO₅, luego de un pre tratamiento de sedimentación física y floculación biológica. De esta forma la presente investigación demuestra que la clarificación fisicoquímica es una tecnología apropiada para este tipo de lixiviado, según los resultados, se obtuvo una considerable disminución de la carga orgánica evaluada, las eficiencias de las pruebas con lixiviado pre tratado estiman disminuciones de entre 43.75% a 51.88% para la turbidez y de entre 91.78% a 96.93% para el DBO₅, lográndose disminuir significativamente los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados, y constituyéndose como alternativa de solución frente a esta problemática y a la carencia de un relleno sanitario en la provincia de Moyobamba.

Palabras Claves: Lixiviado, tratamiento fisicoquímico, botaderos a cielo abierto, turbiedad del agua, DBO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

CENTRO DE IDIOMAS



ABSTRACT

The final disposal of solid waste is one of the most impacting problems that affect the world's societies in an environmental problem. The population growth caused by an increase in the demand for cleaning services, and the generation of high amounts of solid waste, the last in contact with the water generated, the latter are contained in contaminated liquids, which must be treated before being discharged to a sewer system or a receiving water body; in view of this problem, the present research has focused on finding a solution alternative through the physicochemical treatment of the leachate generated by the municipal dump in the province of Moyobamba, which consists in the removal of suspended particles by the action of the products separately aluminum sulfate type A and ferric chloride, through coagulation, flocculation and sedimentation processes. The elements for the success of this process have come to determine the optimum dose of the coagulant and the optimum pH for the greatest removal of turbidity and BOD5, after a physical sedimentation and biological flocculation treatment. In this way the research demonstrates that physical-chemical clarification is an adequate technology for this type of leachate, because according to the results, a considerable decrease in the battery charge was obtained, the tests of the pre-treated leachate tests estimate decreases in 43.75% to 51.88% for the turbidity and between 91.78% to 96.93% for the BOD5, thus significantly achieving the physicochemical parameters in the leachates, and constituting an alternative solution to this problem and the lack of a sanitary landfill in the province of Moyobamba.

Key Words: Leachate, physicalchemical treatment, openair dumps, water turbidity, DBO.

INTRODUCCIÓN

La gestión integral de los residuos sólidos constituye hoy en día uno de los mayores problemas ambientales, económicos, sociales y sanitarios a nivel mundial, principalmente por el acelerado crecimiento poblacional y el volumen de residuos que estos van generando, convirtiéndose así en una tarea difícil de llevar a cabo por su naturaleza compleja, la misma que viene siendo común en los países en vías de desarrollo. La solución de este problema no solo le compete a la ingeniería, sino también a la educación sanitaria y ambiental quienes deben acompañar a un manejo adecuado de los residuos sólidos, desde su generación hasta su disposición final.

El presente trabajo plantea una alternativa de tratamiento fisicoquímico para los lixiviados generados en el botadero municipal de la provincia de Moyobamba mediante procesos de coagulación, floculación y sedimentación, donde existe tan solo un botadero de residuos sólidos a cielo abierto provenientes del área residencial, comercial y de otros servicios, entre ellos también residuos hospitalarios. La disposición final se la realiza mediante el vertido directo del 100% de los residuos y debido a que las lluvias son constantes, se generan gran cantidad de lixiviados. Resulta de gran importancia manejar adecuadamente estos líquidos que arrastran todo tipo de sustancias nocivas, ya que, si no se controlan adecuadamente, contaminan los suelos, las aguas tanto superficiales como subterráneas, afectando de esta manera la salud pública, además de la diversidad en flora y fauna que existe en esta zona y zonas aledañas.

Este trabajo está estructurado en cuatro capítulos, cada uno de los cuales está enfocado en los siguientes aspectos:

- **Capítulo I:** Comprende los aspectos referidos al planteamiento del problema, formulación del problema, los objetivos y justificación de la investigación.
- **Capítulo II:** Contiene el marco teórico, el cual sostiene el fundamento científico relacionado al problema.
- **Capítulo III:** Contiene el marco metodológico, el cual es la guía todo el proceso de investigación.
- **Capítulo IV:** Detalla los resultados del tratamiento experimental de la investigación, interpretación y análisis de los resultados obtenidos, conjuntamente con la comprobación de la hipótesis.

Finalmente se presentan las conclusiones, sugerencia y anexos, para garantizar y validar el trabajo realizado.

Los autores

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

La gestión de los residuos sólidos urbanos constituye hoy el mayor problema ambiental, económico y social a nivel mundial, principalmente porque la población mundial crece y el volumen de residuos también, por lo que es una tarea compleja que se ha convertido en un problema común en los países en vías de desarrollo. Ello se refleja en la falta de limpieza de las áreas públicas, la recolección de residuos en las calles, el incremento de actividades informales, la descarga de residuos en cursos de agua o su abandono en botaderos a cielo abierto y la presencia de personas de ambos sexos y de todas las edades, en estos sitios en condiciones infrahumanas, expuestas a toda clase de enfermedades y accidentes, y la generación de los lixiviados debido a que son una fuente peligrosa de contaminación del suelo, aire y del agua.

Los lixiviados se caracterizan por arrastrar gran cantidad de moléculas orgánicas e inorgánicas, siendo estos tóxicos por la presencia de metales pesados, hidrocarburos aromáticos, pesticidas; además presentan un elevado contenido en nitrógeno amoniacal y una alta conductividad. Los daños que pueden ocasionar en el suelo pueden ser impactantes, debido a la sustitución de iones de los complejos arcillohúmicos, la alteración de sus características, y los daños directos que producen a los microorganismos, invertebrados y plantas que forman parte del suelo (Sancha, 2013).

El Perú al igual que muchos países del mundo enfrenta retos en el manejo de sus residuos sólidos municipales, debido al cambio en el estado ambiental por el crecimiento de las poblaciones concentradas hacia grandes ciudades como en los casos de Ica, Trujillo, Chiclayo, Iquitos, Huancayo, entre otros, teniendo como causa principal la migración de las zonas rurales a las ciudades. Asimismo, la ineficiente gestión de los residuos sólidos determina una situación problemática en relación al manejo de los residuos sólidos en nuestro país.

En la actualidad se estima que la producción total de esos desperdicios supera las 22 mil 475 toneladas diarias en el país, y sólo el 17 % de la generación diaria es dispuesta en rellenos sanitarios. En consecuencia, es previsible determinar que el 83% es destinado a lugares inadecuados, causando daño al ambiente y la salud humana. (MINAM, 2008, p.11)

Ante esta situación, es imprescindible que los municipios y los demás organismos afronten racionalmente y con valentía la gestión de los residuos sólidos, teniendo en cuenta, entre otras consideraciones: el nivel de educación sanitaria y ambiental de la comunidad y su capacidad de pago del servicio de aseo urbano; las implicaciones que acarrea la mezcla de residuos; el valor económico de algunos de estos y su probable mercado; la complementariedad de los sistemas de tratamiento y disposición final; y el costo inherente a los procesos que suponen su recolección, transporte, tratamiento y eliminación (CEPIS, 2002).

En la provincia de Moyobamba existe un botadero de residuos sólidos a cielo abierto administrado por la municipalidad provincial, donde se realiza la disposición final de residuos sólidos provenientes del área residencial, comercial y de otros servicios, entre ellos también residuos hospitalarios. La disposición final se la realiza mediante vertido directo del 100% de los residuos y debido a que las lluvias son constantes, se generan gran cantidad de lixiviados. Resulta de gran importancia realizar el tratamiento de estos líquidos que arrastran todo tipo de sustancias nocivas, ya que, si no se controlan adecuadamente, contaminan los suelos, las aguas superficiales, subterráneas (acuíferos) y afectan la salud pública, otro factor que debe considerarse es la mega diversidad en flora y fauna que existe en esta zona. Como se trata de un proceso contaminante que se produce de manera lenta, sus efectos no suelen percibirse hasta varios años después. Por lo cual un tratamiento es imprescindible porque además existen viviendas cercanas como el AA. HH Alto Mayo y las contiguas al distrito de Yantaló que utilizan las aguas de los ríos y quebradas colindantes para sus actividades diarias.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficiencia de la aplicación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación en la clarificación fisicoquímica de los lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba - 2016?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Aplicar los procesos de coagulación, floculación y sedimentación para la clarificación fisicoquímica de los lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba – 2016.

1.3.2. Objetivos específicos.

- ✓ Diseñar una planta de tratamiento a escala con procesos de aireación, coagulación, floculación y sedimentación para disminuir los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados.
- ✓ Experimentar mediante ensayos a escala de laboratorio con el equipo de prueba de jarras, aplicando distintas dosis de coagulantes de acuerdo a los parámetros fisicoquímicos pH y turbiedad.
- ✓ Determinar experimentalmente la eficiencia del proceso de clarificación fisicoquímica en el tratamiento de lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba – 2016.

1.4. Justificación de la investigación

La evaluación de procesos de tratamiento de lixiviados aporta mayores alcances para la consideración de criterios en el tratamiento de lixiviados. Ya que estos definen las condiciones y aplicabilidad de los procesos a un determinado residuo sólido en este caso los lixiviados provenientes de botadero y proveer de una alternativa de solución en un futuro relleno sanitario de la provincia de Moyobamba.

Los lixiviados son efluentes de características contaminantes muy agresivas al medio ambiente y a la salud pública, por ello se le llega a categorizar como un desecho de tipo más peligroso por las elevadas concentraciones de sustancias contaminantes, por lo tanto, requieren de un tratamiento que suele ser complicado, pero necesario; en base a ello se plantea ejecutar un acondicionamiento fisicoquímico por coagulación – floculación y sedimentación, con el objetivo de reducir la concentración de sustancias contaminantes y materia orgánica elevada y cumplir con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en las normas nacionales e internacionales y finalmente poder disponerlas al sistema de alcantarillado.

Además, la salud pública de una comunidad depende mucho de la gestión integral de los residuos sólidos, como sabemos los residuos generados por la población de la provincia de Moyobamba son recolectados y dispuestos en el botadero, donde no existe ningún control ni tratamiento adecuado de los lixiviados generados, por lo que surge la iniciativa con la presente investigación de contribuir con una alternativa de solución a este problema.

CAPÍTULO II

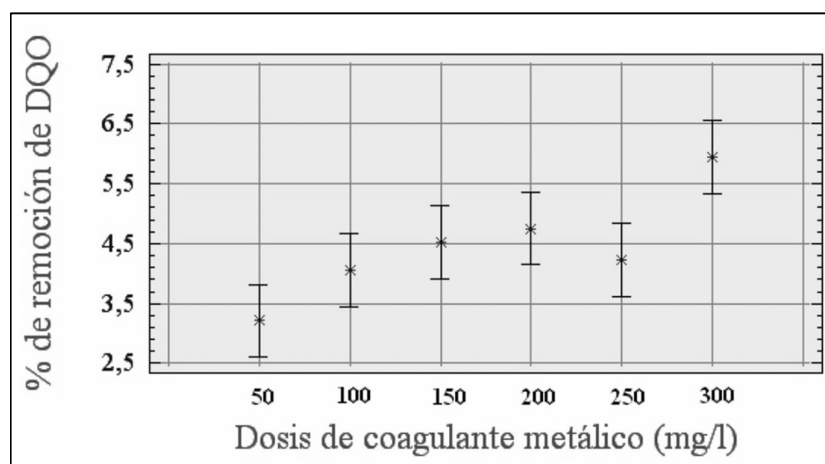
MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

a. Internacional

Gálvez (2008) en su trabajo de investigación “Aplicabilidad de procesos de coagulación floculación y de sistema de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos”, concluye que en el tratamiento del lixiviado del vertedero de Alhendín mediante coagulación – floculación, las combinaciones óptimas de reactivos así como sus dosis óptimas de coagulante y de floculante son: Cloruro férrico (0.5 mL/L) + A/20L (14 mL), sal 8.2 (1 mL/L) + A/30L (10 mL/L) y PAX-18 (0.5 mL/L) + A/30L (10 mL/L). La aplicación de floculantes catiónicos o de coagulantes aislados es menos eficiente. La carga orgánica del lixiviado influye significativamente en el proceso de coagulación – floculación, por lo que en casos de lixiviados muy concentrados sería recomendable realizar nuevos ensayos para optimización de las dosis. El proceso de coagulación floculación aplicado al tratamiento del lixiviado del vertedero de Alhendín permite eliminar parte de la DQO (hasta el $26.52 \pm 4.22\%$) y de los sólidos totales (hasta el $12.51 \pm 1.74\%$) presentes en el lixiviado, aunque es incapaz de producir por sí solo un efluente con calidad aceptable, lo que hace necesaria su combinación con otro u otros sistemas de tratamiento.

Méndez et al. (2004) en su trabajo de investigación “Tratamiento físico químico de los lixiviados de un relleno sanitario”, describen un procedimiento para determinar la dosis y tipo de coagulante óptimos para el tratamiento fisicoquímico de lixiviados de un relleno sanitario, se realizaron ensayos de la prueba de jarras a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, en los que se probaron 4 coagulantes metálicos (cloruro férrico, sulfato férrico, policloruro de aluminio y sulfato de aluminio) con dosis de 50 a 300 mg/L y 2 poli electrólitos (aniónico y catiónicos de alta densidad) con dosis de 2 a 12mg/L. Sin embargo, no se encontraron resultados positivos y la mejor remoción de contaminantes medidas en función a la demanda química de oxígeno (DQO) se obtuvo con la dosis de 300 mg/L con una eficiencia incipiente de remoción de 6.6% tal como se observa en la figura 1.



Fuente: Méndez et al. 2004

Figura 1. Diferencia significativa mínima para la dosis de coagulante.

De donde concluye que, los lixiviados se encuentran en forma soluble o coloidal de pequeño tamaño ($< 50 \mu\text{m}$) lo que propicia que las eficiencias de los procesos de clarificación sean bajas y que la mejor dosis coagulante fuera de 300 mg/L de sulfato férrico, con la que se obtuvieron eficiencia de remoción de DQO soluble del 5.7%, la cual actuó por acción de barrido. Además, a valores de $\text{pH} = 1$ se obtienen remociones de DQO superiores del 42% por la aglutinación de coloides de pequeño tamaño o la precipitación de sólidos disueltos.

Valles (2013) en su trabajo de investigación “Tratamiento fisicoquímico y biológico de lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua”, afirma que según la experimentación realizada el tratamiento propuesto: coagulación – floculación – sedimentación, adsorción, dilución – reactor biológico y oxidación química, resultado adecuado para remover DQO, DBO_5 y algunos metales del lixiviado establecidos por la NOM-001-SEMARNAT – 1996 como contaminantes. Llevándolos a concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles para ser descargados en aguas y bienes nacionales.

El tratamiento coagulación – floculación – sedimentación – adsorción, dilución – reactor biológico, oxidación química planteado presenta la ventaja de remover contaminantes en lixiviados que por su elevado contenido de DQO ($>20000\text{mgL}^{-1}$) son difícilmente eliminados por otros tratamientos. No obstante, presenta como principal desventaja un costo elevado de operación.

Vilar (2015). En su trabajo de investigación “Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos urbanos”, concluye que, en los ensayos realizados con lixiviado bruto, se obtuvieron porcentajes de eliminación de en torno a un 43% de DQO para dosis de cloruro de hierro (III) entre 1400 y 2000 mg/L, sin ajuste previo de pH. En cuanto al efecto del pH empleando la misma dosis, se obtuvieron mejores eliminaciones ajustando el pH a 4 antes de la adición del coagulante, con respecto al ensayo realizado al pH del lixiviado 8,3. Con dosis de 1200 mg Fe³⁺/L, se alcanzó un 47% de eliminación de DQO en las muestras cuyo pH se ajustó a 4, frente al 36% obtenido al pH del lixiviado. El mismo efecto se observó para el ensayo realizado con 700 mg Fe³⁺/L.

En el estudio del efecto de la dosis a pH 4, se obtuvieron resultados similares a los obtenidos al pH del lixiviado empleando dosis menores de coagulante, con porcentajes de eliminación de DQO en torno a un 44% a partir de dosis de 1200 mg Fe³⁺/L, frente al 43% de DQO eliminada con dosis de 1400 mg Fe³⁺/L al pH del lixiviado bruto. En los ensayos realizados con lixiviado diluido pretratado anaeróbicamente sin ajuste previo de pH, se obtuvieron porcentajes de eliminación de entre 50 y 58%, empleando dosis entre 1400 y 2000 mg Fe³⁺/L. Se obtuvieron mejores resultados con cloruro de hierro (III) que, con sulfato de aluminio, para todas las condiciones ensayadas.

b. Nacional

Anchiraico & Vilcahuaman (2010) en su trabajo de investigación “Evaluación del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación – floculación y sedimentación”, concluyen que los resultados finales de los parámetros óptimos demostraron una alta eficiencia con una remoción de turbidez del 94%. Los ensayos finales alcanzaron un nivel máximo de eficiencia de clarificación del 68.70%.

La remoción de carga orgánica es positiva los porcentajes de eficiencia de remoción alcanzaron 47.50% y 55.43% en DBO₅ y DQO respectivamente. La biodegradabilidad no sufre variaciones considerables. Si bien la hipótesis fue comprobada, las elevadas dosis que se requieren y la formación excesiva de subproductos como la espuma y lodo mal floculado hacen que este tipo de tratamiento sea difícil de aplicar en una experiencia real para tratamiento de lixiviados a gran escala.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Los lixiviados

Desechos urbanos

El más conocido desecho urbano es el proveniente de fuentes domésticas, comerciales e industriales; tales desechos incluyen, latas, botellas, papeles, plásticos, automóviles convertidos en chatarra, residuos sólidos y artículos de consumo usados. Entre los desechos de cocina están los desechos de alimentos vegetales, residuos de carne, grasa de frituras, cortezas de cítricos y otras frutas; entre los desechos de papel y productos de papel tenemos: cartón, periódicos, revistas, papel de envoltura, cartas, recipientes para alimentos, papel higiénico, papel de recubrimiento, papel encerado, papeles para regalos, etc., cuando se recogen estos desechos, casi siempre se disponen sobre la tierra en algún lugar lejano de las zonas urbanas (Armas et al., 1996, p.743)

Tabla 1

% desechos sólidos municipales en países industrializados

| Desechos | % | Desechos | % |
|------------------|----|----------------|---|
| Papel | 41 | Plásticos | 5 |
| Alimentos | 21 | Madera | 5 |
| Vidrio | 12 | Caucho y cuero | 3 |
| Metales ferrosos | 10 | Textiles | 2 |
| Aluminio y otros | 1 | | |

Fuente: Armas et al., 1996, p.744

Lixiviación natural

La lluvia es un fenómeno extremadamente importante en cualquier ciclo ambiental, es indiscutible que el agua por ser un disolvente efectivo extrae gradualmente de la corteza terrestre toda clase de materiales indeseables. Nuestra sociedad genera tantos productos indeseables, que al pasar el tiempo se convierten en nocivas. Entre los elementos indeseables están el As, Cd, Hg y Pb. Una vez que estos alcanzan el sistema de agua en concentraciones normales, no sólo afecta a la fauna acuática y silvestre sino también, y con frecuencia, a la gente con efectos inevitablemente perjudiciales. (Armas et al., 1996, p. 745)

Lixiviado

El lixiviado es el efluente líquido de los residuos sólidos como consecuencia de la pérdida de humedad por descomposición bioquímica, por compactación y por infiltración de líquidos al lecho de basuras, ocasionando la extracción de materiales disueltos o en suspensión.

Cuando no se controla la disposición de los desechos y éstos se dejan en botaderos a cielo abierto, la escorrentía y la lluvia provocan gran parte de la lixiviación, generando corrientes hacia las aguas superficiales más próximas; estas corrientes se infiltran en la mayor parte de los casos y contaminan los estratos que encuentran a su paso. Las características y tasas de generación de los lixiviados son específicas para cada sitio y tipo de residuo, ya que dependen de la composición de los residuos sólidos dispuestos en el lugar, de la temperatura, la humedad y el pH de éstos, y de la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea que logra pasar hacia la zona donde se encuentra la basura. (Peñaloza, s.f.).

➤ Características de los lixiviados

La composición de un lixiviado está caracterizada por cantidades elevadas de materia orgánica (biodegradable, pero también refractaria a la biodegradación), sales orgánicas e inorgánicas, nitrógeno, metales pesados y otras sustancias químicas diluidas, variando con la edad del vertedero (Steiner, 2008), las características del residuo depositado, la meteorología del lugar y modo de operación (Castrillón, 2008, Renou, et al., 2008)

Se concluye usualmente que los lixiviados contienen toda característica contaminante principal, es decir, alto contenido de materia orgánica, nitrógenos y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente sustancias tóxicas como metales pesados y constituyentes orgánicos. (Giraldo, 2001)

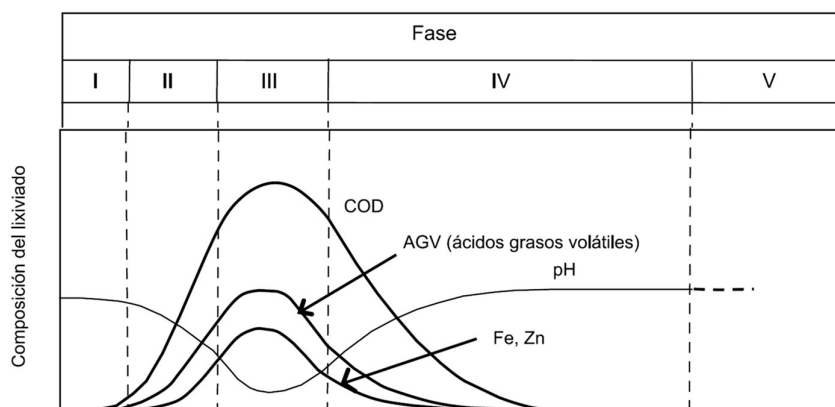
Los compuestos orgánicos presentes en los lixiviados son: proteínas, carbohidratos, compuestos hidroxiaromáticos, alcoholes, y principalmente los ácidos grasos volátiles; adicionalmente, los lixiviados contienen gran cantidad de nitrógeno amoniacal (Torres, 2005).

Estas características son importantes en cuanto nos indican que es necesario remover a los lixiviados durante su tratamiento, sin embargo, desde el punto de vista de la selección de

la tecnología existen otras características que, sin ser necesariamente contaminantes, pueden afectar el funcionamiento de los procesos de tratamiento (Giraldo, 2001).

La carga orgánica de los lixiviados alcanza los máximos valores en los primeros años de operación y decrece gradualmente con la edad del vertedero. En contraste, la concentración de amonio, que en general puede presentar cantidades superiores a 2000 mg/l, no decrece y a menudo constituye su principal contaminante. En cuanto al contenido en metales pesados, las concentraciones son muy bajas en la fase metanogénica, pero sí son importantes en la fase inicial del vertedero (fase ácida) (Castrillón, 2008).

Durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo y las concentraciones de DBO₅, COT, DQO, nutrientes, y metales pesados serán altas. Por otro lado, durante la fase de fermentación del metano, el pH estará dentro del rango de 6,5 a 7,5, y los valores de concentración de DBO₅, COT, DQO y de los nutrientes serán significativamente más bajos. Similarmente, serán más bajas las concentraciones de metales pesados porque la mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros. El pH del lixiviado dependerá no solamente de la concentración de los ácidos que están presentes, sino también de la presión parcial del CO₂ en el gas de vertedero que está en contacto con el lixiviado (Tchobanoglous, et.al., 1994).



Fuente: Tchobanoglous, 1994.

Figura 2. Composición de los lixiviados: I) ajuste inicial, II) fase de transición, III) fase ácida, IV) fermentación del metano y V) fase de maduración.

El Caudal de lixiviados (L) está estrechamente vinculado a la precipitación (P), la escorrentía superficial (R), y al cambio de humedad del suelo (ΔU_s) y a la intrusión de agua subterránea que se filtra a través del relleno sanitario o botadero (ΔU_w).

El clima también tiene una gran influencia en la producción de lixiviados, ya que afecta la entrada de la precipitación (P) y las pérdidas por evapotranspiración (ET). Por último, la producción de lixiviados depende de la naturaleza de los propios residuos, es decir, su contenido de agua. La producción suele ser mayor cuando los desechos se compactan menos, ya que la compactación reduce la tasa de filtración. (Renou, et al., 2008).

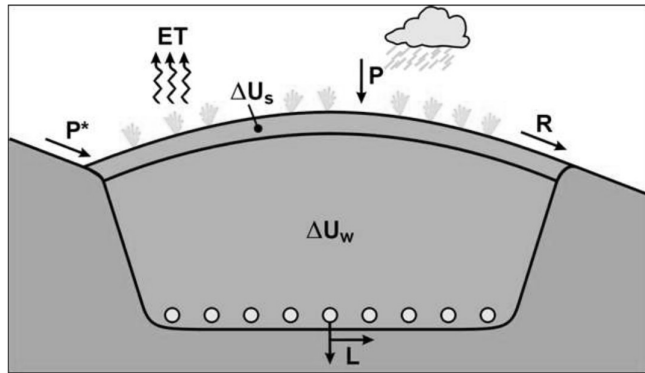


Figura 3. Generación de lixiviados. Fuente: <http://gestionintegralresiduos.blogspot.com/>

De acuerdo con el balance hídrico se tiene que:

$$L = P - R - \Delta U_s - ET - \Delta U_w$$

Donde,

L = Caudal de lixiviados; P = Precipitación media anual; R = Escorrentía

ET = Evapotranspiración; ΔU_s = Cambio de humedad del suelo

ΔU_w = Cambio de humedad de los residuos

Sin embargo, se ha utilizado el método suizo para estimar el caudal de lixiviados que se generan:

$$Q = (1/t) \cdot P \cdot A \cdot k$$

Donde,

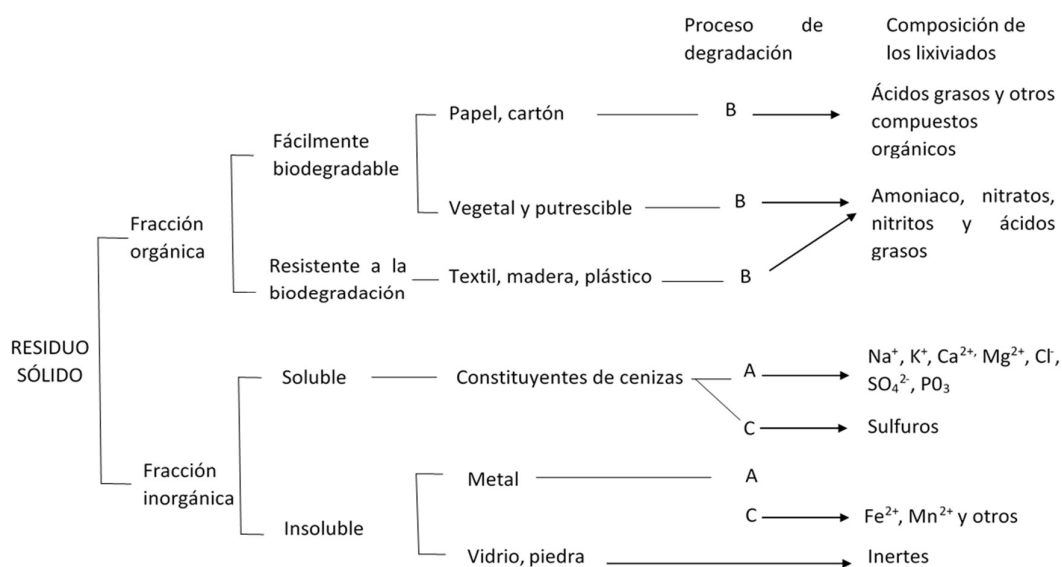
t: 31 536 000 segundos (los segundos que tiene un año)

k: Coeficiente de compactación; A: Área superficial en metros cuadrados

P: precipitación media anual (mm/año)

➤ Composición de los lixiviados

Más de 200 compuestos han sido identificados en los lixiviados, entre algunos se pueden clasificar en hidrocarburos cíclicos, hidrocarburos aromáticos, bencenos, alcoholes, éteres cíclicos, ácidos y esteres, fenoles, lantanos y furanos, compuestos que contienen nitrógeno, fósforo, sulfuro y sílice, y trazas inidentificables. Entre los compuestos mencionados están sustancias reconocidas por su capacidad contaminante, entre las que se encuentran el tolueno, etilbenceno, xilano, estireno, naftaleno, pireno, entre otras (Bauer et al. 1998; Paxéus, 2000).



Fuente: Bueno et al., 1997.

Figura 4. Origen de algunos compuestos en los lixiviados.

A: Disolución directa de sustancias solubles, B: Disolución de compuestos solubles formados por biodegradación, C: Disolución ácida por reducción química de la forma insoluble a la forma soluble.

Un lixiviado antiguo tendrá una relación DBO₅/DQO entre 0.05 y 0.2, debido a la abundancia de ácidos húmicos y fúlvicos, difícilmente biodegradables, mientras que los lixiviados jóvenes generalmente son más fáciles de tratar que los más antiguos, así un lixiviado con una DBO₅/DQO baja tiene como característica un contenido en materia orgánica altamente persistente difícil de tratar (Deng, 2007; Primo et al., 2008).

En un relleno sanitario o botadero de 3-5 años de edad, hay muchos compuestos orgánicos, esto es resultado de la fase metanogénica de la descomposición anaerobia del residuo. En este caso la DQO y la DBO₅ alcanzan valores muy altos y el pH es bajo por la gran cantidad de ácidos grasos volátiles producidos en esta fase. Por lo tanto, la relación de DBO₅/DQO alcanza valores más altos que 0.7, debido a la alta biodegradabilidad de los compuestos

orgánicos presentes en el lixiviado. A medida que el relleno o botadero se va haciendo más viejo, la concentración de los componentes fácilmente biodegradables y la relación DBO_5/DQO va bajando. Cuando los residuos se han estabilizado completamente la relación DBO_5/DQO alcanza el valor de 0.1.

Una relación DBO_5/DQO entre 0.22 – 0.26 indica una baja fracción biodegradable en el lixiviado, esto significa un incremento de la actividad microbiana que se traduce en una reducción de la fracción biodegradable (Karthikeyan et al. 2006). Esto ocurre debido al descenso de la cantidad de productos biodegradables en el residuo estabilizado, y el aumento de la cantidad de productos resistentes a la descomposición biológica en el residuo estabilizado.

El aumento de los ácidos húmico y fúlvico en un lixiviado es el causante de una muy baja relación de DBO_5/DQO , porque sus estructuras sufren cambios con la edad y llegan a dificultar el metabolismo de las bacterias. En un lixiviado de un relleno o botadero joven los anillos aromáticos de las moléculas de ácidos húmico están menos condensados, y las moléculas tienen un tamaño más pequeño. Para el caso de lixiviado de un relleno viejo los anillos aromáticos están más condensados y las moléculas de ácidos húmico tienen un tamaño más grande. Esto significa que el grado de humificación de un lixiviado se incrementa con la edad del residuo depositado.

La presencia de ácidos húmico y fúlvico en el lixiviado es muy importante no sólo por su resistencia a la biodegradabilidad, sino también por su afinidad por los contaminantes. Son los responsables del transporte y del comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente como metales pesados y contaminantes hidrofóbicos (Kang et al. 2002).

Por otro lado, durante la fase ácida de la descomposición de la materia orgánica, el pH será bajo y las concentraciones de DBO_5 , DQO , TOC , nutrientes y metales pesados serán altos. Sin embargo, durante la fase de fermentación del metano el pH estará entre 6.5 – 7.5, y los valores de DBO_5 , DQO , TOC , nutrientes y metales pesados serán significativamente más bajos. La mayoría de los metales son menos solubles para valores de pH neutros. Por otro lado, el pH será más bajo cuanto mayor sea la presencia de ácidos y cuanto mayor sea la presión parcial del CO_2 (Tchobanoglous et al., 1994).

Tabla 2*Composición de los lixiviados*

| Constituyente | Relleno sanitario nuevo (menos de 10 años) | | Relleno sanitario antiguo (mayor de 10 años) |
|-------------------------------------|--|--------|--|
| | Rango | Típico | |
| DBO ₅ | 2,000 – 30,000 | 10,000 | 100 - 200 |
| COT | 1,500 – 20,000 | 6,000 | 80 - 180 |
| DQO | 3,000 – 60,000 | 18,000 | 100-500 |
| SST | 200 – 2,000 | 500 | 100-400 |
| Nitrógeno orgánico | 10-800 | 200 | 60-120 |
| Nitrógeno amoniacal | 10-800 | 200 | 20-40 |
| Nitrato | 5-40 | 25 | 5-10 |
| Fósforo total | 5-100 | 30 | 5-10 |
| Ortofosfato | 4-80 | 20 | 4-8 |
| Alcalinidad como CaCO ₃ | 1,000-10,000 | 3,000 | 200-1000 |
| pH | 4.5-5.7 | 6 | 6.6-7.5 |
| Dureza total como CaCO ₃ | 300-10,000 | 3500 | - |
| Calcio | 200-3,000 | 1,000 | 100-400 |
| Magnesio | 50-1,500 | 250 | 50-200 |
| Potasio | 200-1000 | 300 | 50-400 |
| Sodio | 200-2,500 | 500 | 100-200 |
| Cloruros | 200-3,000 | 500 | 100-400 |
| Sulfatos | 50-1,000 | 300 | 20-50 |
| Hierro total | 50-1,200 | 60 | 20-200 |

Fuente: Tchobanoglous et al., 1994

Todos los valores están en mg/L, excepto el pH que no tiene unidades.

Tabla 3*Clasificación de los lixiviados*

| | Nuevo | Intermedio | Viejo |
|---------------------------|--------|----------------|-------|
| Edad (años) | <5 | 5-10 | >10 |
| pH | <6.5 | 6.5 – 7.5 | >7.5 |
| DQO (mg/L) | >10000 | 4000-10000 | <4000 |
| DBO ₅ /DQO | >0.3 | 0.1 – 0.3 | <0.1 |
| NH ₃ -N (mg/l) | >400 | 400 | <400 |
| Metales pesados (mg/l) | >2 | 2 | <2 |
| Compuestos orgánicos | 80%AGV | 5-30%AGV+AH+AF | AH+AF |
| Tipo | SD | P | E |

Fuente: Renou et al. 2008.

VFA= Ácidos Grasos Volátiles; AH= Ácidos Húmicos; AF= Ácidos Fúlvicos; SD= Sin degradar; P= Parcialmente degradados o estabilizados; E= Estabilizados.

En la Tabla 3 se resumen las características que presentan los lixiviados según la edad del relleno o botadero. En cuanto a los metales que se pueden encontrar en los lixiviados, éstos pueden estar como iones libres, o formando uniones con compuestos orgánicos e inorgánicos, variando sus características físico-químicas e influyendo significativamente en su movilidad, disponibilidad y toxicidad (Janos et al. 2004; Pesavento et al. 2009; Weng et al. 2002).

➤ **El problema de los lixiviados**

Los lixiviados constituyen un alto riesgo a las fuentes naturales de agua, su alto grado de contaminación posee características muy agresivas y pone en riesgo la salud pública junto con el equilibrio medioambiental. El crecimiento poblacional y el desarrollo de las sociedades han traído consigo un mayor volumen de residuos dentro de los cuales aparecen unos de composición más compleja y por ende con una más complicada forma de tratar. De esto resultan lixiviados mucho más agresivos y con compuestos (metales pesados) que incluso pueden tener implicancia en el desarrollo de enfermedades terminales como el cáncer. Por otro lado, la tecnología a utilizar para la estabilización de estos residuos tiene un costo pocas veces considerados en la gestión y manejo de los residuos y por ende en la operación de los rellenos sanitarios, que optan por la descarga en algún cuerpo receptor como botaderos contraviniendo de esta forma su función de salvaguarda de la salud pública. (Tchobanoglous, 1994).

2.2.2. Parámetros físicos – químicos de los lixiviados

Al hablar de calidad de aguas ya se sean para tratamientos de depuración, potabilización, vertido o cualquier otro uso, es imprescindible determinar parámetros físicos – químicos mediante métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que marca la legislación vigente. Entre los parámetros físicos se puede destacar los sólidos en suspensión, color, olor, turbidez, etc. En cuanto a los parámetros químicos se puede destacar, el pH, materia orgánica, TOC, DQO, DBO₅, aniones y cationes (SO₄⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, etc....).

➤ **pH**

La determinación del pH en un lixiviado es una medida de su acidez o de su alcalinidad. Un pH menor de 7.0 indica una tendencia hacia la acidez, mientras que un valor mayor de 7.0 muestra una tendencia hacia lo alcalino. Una muestra de lixiviado durante la fase ácida de la descomposición, el pH será bajo, durante la fase de fermentación del metano, el pH estará dentro del rango de 6.5 a 7.5, el pH del lixiviado dependerá no solamente de la concertación de los ácidos que están presentes, sino también de la presión parcial del CO₂ en el gas producido que está en contacto con el lixiviado. El pH en los lixiviados generalmente es bajo por la gran cantidad de ácidos grasos volátiles producidos. (Romero, 2009).

➤ **Turbiedad**

La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de lixiviado. La turbidez es ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidad nefelométrica de turbiedad (UNT).

La determinación de la turbidez es de gran importancia, los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por un lixiviado crudo, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada y la efectividad de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Romero, 2009).

➤ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

La demanda bioquímica de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno que se consume en mgO₂/L por procesos bioquímicos durante la degradación de ingredientes orgánicos, por tanto, mediante el análisis de DBO₅ se determinan los compuestos orgánicos degradables. La DBO₅ es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de lixiviado midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea (durante 5 días generalmente), a una temperatura de incubación de 20°C y en presencia de nutrientes. Una muestra de lixiviado durante la fase ácida las concentraciones de DBO₅ serán altos y en la fase de fermentación del metano estos valores serán significativamente más bajos. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Medida en el afluente y efluente de la muestra permite calcular la remoción del mismo (Romero, 2009).

➤ **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Desde el punto de vista ambiental, la demanda química de oxígeno (DQO) es una medida aproximada del contenido total de materia orgánica presente en una muestra de lixiviado. Esta materia orgánica en condiciones naturales puede ser biodegradada lentamente y es oxidada a CO_2 y H_2O mediante un proceso lento que puede tardar, desde unos pocos días hasta unos varios millones de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente y de las condiciones de biodegradación. La DQO a diferencia de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) determina adicionalmente sustancias orgánicas no degradables. En las pruebas de DQO se acelera el proceso de biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos debidamente estandarizados. Una muestra de lixiviado durante la fase ácida las concentraciones de DQO serán altos y en la fase de fermentación del metano estos valores serán significativamente más bajos (Romero, 2009).

➤ **Temperatura (T°)**

La temperatura es una de las variables que más influyen en el proceso, cuya eficacia decrece por debajo de 15°C ya que la depuración se debe fundamentalmente a la sedimentación, mientras que por encima de 15°C la biodegradación se incrementa. Debido a los procesos exotérmicos que se producen en el interior de un relleno sanitario, la temperatura de los lixiviados es, por lo general, más alta de la que normalmente se aprecia en el área de las aguas subterráneas. (Romero, 2009).

2.2.3. Tratamiento físico – químico

El tratamiento físico – químico de los lixiviados tiene un costo relativamente alto, pero necesitan instalaciones más pequeñas y sencillas y son menos sensibles a las variaciones del medio. Las técnicas empleadas usualmente son: Clarificación por coagulación química, que consiste en acelerar la decantación de los sólidos en suspensión agregando determinadas sustancias; oxidación química, en la que se degradan los compuestos orgánicos del lixiviado mediante agentes oxidantes; adsorción, donde se utiliza un filtro de carbón activo para depurar las sustancias contaminantes; y osmosis inversa, por la que se filtra el líquido a través de membranas a diferentes presiones.

La eficiencia de estos procesos es elevada respecto de lixiviados muy agresivos, pero también muy costosa; por ello la opción de tenerlos como un complemento es más conveniente para un proceso de menor costo total.

La clarificación de los lixiviados mediante precipitación química es una de las posibilidades para acondicionar al lixiviado a un tratamiento posterior menos complejo y por ende menos costoso (Peñaloza, s.f.).

A. Coagulación – Floculación

Estos procesos tienen como objetivo eliminar las partículas suspendidas de la fase líquida; a valores bajos de pH se remueven las partículas de tamaño pequeño que le confieren color al lixiviado (Méndez et al., 2004).

Para lograr la separación química se adicionan sustancias como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, CaCO_3 , FeCl_3 , FeClSO_4 , poliacrilamida, cloruro de polialuminio, entre otros. Tienen como finalidad reducir sólidos en suspensión, partículas coloidales, material flotante, color y compuestos tóxicos (Renou et al., 2008).

La coagulación – floculación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales (sólidos disueltos) que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas por medio de la adición de los coagulantes y la aplicación de energía de mezclado (Metcalf & Eddy, 1996).

El grado de agitación que se le da a la masa durante la adición del coagulante determina si la coagulación es completa, turbulencias desiguales hacen que cierta porción de agua tenga mayor concentración de coagulante y la otra tenga poca o casi nada; la agitación debe ser uniforme e intensa en toda la masa de líquido, para asegurar que la mezcla produzca la reacción química de neutralización de cargas correspondiente (Abría, 2002).

La coagulación se define como la desestabilización por neutralización de partículas cargadas y la agregación inicial de coloides. La floculación se define como la aglomeración en coágulos de los coloides y materiales en suspensión finamente divididos ya sea mediante una mezcla física o bien mediante coagulantes químicos. El tratamiento químico se hace para que se produzcan la coagulación y la floculación mediante el ajuste de cargas químicas en los contaminantes a través del proceso de adición de productos químicos (Russell, 2012).

Hay que distinguir entre coagulación, el proceso químico por el cual se añade un coagulante (Sustancia química) al agua con el objeto de destruir la estabilidad de los coloides y promover su agregación, y floculación como el proceso físico de mezcla rápida y lenta por medio del cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y por consiguiente la formación de floc. Sin embargo, es común referirse a la coagulación como el proceso de adición de coagulante, mezcla rápida, floculación y sedimentación (Romero, 2009).

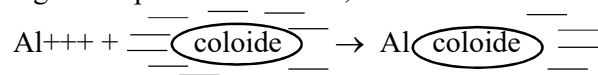
Coagulantes

Los coagulantes son productos químicos que al adicionar al lixiviado son capaces de producir una reacción con los componentes químicos de este, especialmente con la alcalinidad del agua presente en el lixiviado para formar un precipitado voluminoso, muy adsorbente, constituido principalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. Los coagulantes más empleados son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, el cloruro férrico, el sulfato férrico, el aluminato de sodio, el cloruro polialumínico, el cloruro poliférrico, cloruro de magnesio, la sílice activada, el almidón, la cal y gran número de polielectrolitos de masa molecular alta. (Abria, 2002).

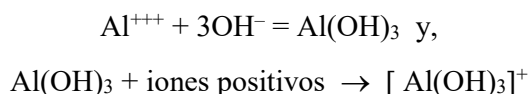
1. Sulfato de aluminio (Alumbre)

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar empleado en tratamiento de aguas. El producto comercial tiene usualmente la fórmula $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, con masa molecular de 600. El material se empaca de diversas maneras: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida.

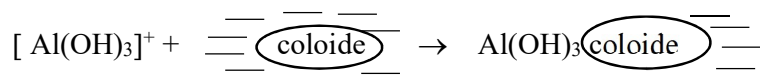
Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y SO_4^- . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal,



El Al^{+++} puede combinarse también con los OH^- del agua para formar hidróxido de aluminio.



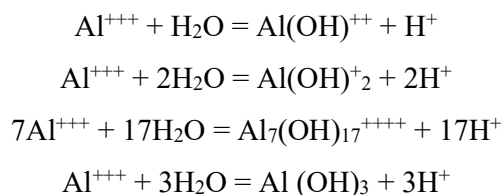
Este hidróxido de aluminio es de carácter coloidal, ya que adsorbe iones positivos en solución para formar un sol cargado positivamente. Dicho sol neutraliza la carga de los coloides negativos y ayuda a completar su aglomeración.



Casi siempre se forma un exceso de sol de hidróxido de aluminio, y su destrucción y precipitación se logran mediante los iones sulfato y otros iones negativos presentes en el lixiviado.



Con respecto a los coagulantes de hierro y a los de aluminio, se puede afirmar que los cationes metálicos reaccionan inmediatamente con el lixiviado para formar iones acuimetálicos e hidrógeno; los aniones permanecen libres o combinados con otros cationes. Con el alumbre ocurren las siguientes reacciones:



Los iones acuimetálicos son adsorbidos por el coloide negativo y neutralizan su carga superficial, permitiendo la coagulación. La coagulación por adsorción y neutralización de la carga es posiblemente el fenómeno predominante en soluciones de alta concentración de coloides.

los coloides también pueden ser barridos por los *flocs* formados, al resultar entrapados dentro de ellos durante la floculación y sedimentación; en otras palabras, los precipitados de $\text{Al}(\text{OH})_3$ entrapan los coloides efectuando una coagulación de barrido, la cual predomina en algunas soluciones de concentración coloidal baja. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que si se sobre dosifica el coagulante, el fenómeno puede revertirse y resurgir el coloide negativo, causando nuevamente el problema de turbiedad o color.

En general, los complejos de carga positiva más alta son más efectivos en la reducción del potencial zeta y, por tanto, en efectuar la coagulación; por esta razón es importante que el sulfato de aluminio se distribuya a través de todo el volumen de lixiviado rápidamente,

con el fin de lograr el contacto con todas las partículas coloidales antes de que se presente la formación de las especies menos deseables. Esto se obtiene mediante una mezcla instantánea que provea una buena distribución del coagulante en el menor tiempo posible (un período no mayor de diez segundos).

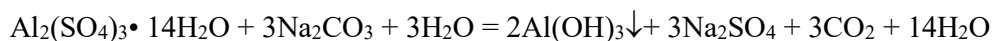
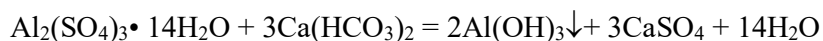
Durante la floculación, generalmente un período que oscila entre diez y treinta minutos, se completa la aglomeración de las partículas y crecen los *flocs* hasta una condición adecuada para su sedimentación. Durante la sedimentación, *el floc* se asienta para dejar un líquido clarificado. Cuando se añade sulfato de aluminio al lixiviado, éste reacciona con la alcalinidad para formar *floc* de hidróxido de aluminio:



El bicarbonato de calcio representa alcalinidad, la cual se expresa como CaCO_3 , con masa molecular de 100. El CO_2 tiene masa molecular de 44. Dadas estas relaciones de masa, se deduce de la ecuación anterior que cada mg/L de alumbre disminuye la alcalinidad del agua en 0,5 mg/L y produce 0,44 mg/L de CO_2 .

La producción de CO_2 es indeseable puesto que incrementa la corrosividad del lixiviado; además, la ecuación muestra también cómo se presenta una conversión de bicarbonato de calcio en sulfato de calcio, o sea una reducción de la dureza carbonácea y un aumento de la no carbonácea, lo cual es también desventajoso desde el punto de vista de remoción de dureza.

Si el lixiviado no contiene alcalinidad suficiente para reaccionar con el alumbre, hay que añadir la alcalinidad necesaria. Esto se hace normalmente con cal o soda ASH:



La cal es menos costosa que el Na_2CO_3 ; ésta aumenta el contenido de dureza no carbonácea mientras que la soda incrementa la corrosividad.

La dosis de alumbre varía normalmente entre 5 y 50 mg/L para aguas naturales. Comúnmente, el pH efectivo para coagulación con alumbre es de 5,5 a 8,0 y se prefiere para tratar aguas superficiales de buena calidad por ser el único químico necesario para la coagulación (Vargas, 2002).

2. Cloruro férrico $\text{Fe}(\text{Cl})_3$

Se presenta en forma sólida o líquida, la forma sólida es cristalina, de color pardo, deliquescente, de fórmula teórica $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Se funde fácilmente en su agua de cristalización a 34°C , por lo que es necesario protegerla del calor. La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de FeCl_3 . Para evitar toda confusión entre los contenidos de producto puro o de producto comercial, es recomendable expresar la dosis de coagulantes en Fe equivalente; es decir, 20.5% para la fórmula sólida y 14% aproximadamente para la solución acuosa comercial.

En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso FeCl_2 . Esta reacción explica su gran poder corrosivo frente al acero, y la necesidad de seleccionar adecuadamente el material de los recipientes de almacenamiento, de preparación y de distribución (Vargas, 2002).

Reacciones del cloruro férrico:

- 1) Con la alcalinidad: $2\text{FeCl}_3 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow 3\text{CaCl}_2 + 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 6\text{CO}_2$
- 2) Con la cal: $2\text{FeCl}_3 + 3\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow 3\text{CaCl}_2 + 2\text{Fe}(\text{OH})_3$
- 3) Con el aluminato sódico: $3\text{NaAlO}_2 + \text{FeCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{NaCl}$

Alcalinidad requerida para la coagulación

Tabla 4

Alcalinidad requerida para la coagulación

| Coagulante | Alcalinidad Requerida |
|--|--|
| Alumbre $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ | 0,50 HCO_3^- como CaCO_3 0,28 cal como CaO 0,37 cal como $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,53 soda ash como Na_2CO_3 |
| Cloruro férrico FeCl_3 | 0,92 HCO_3^- como CaCO_3 0,52 cal como CaO 0,68 cal como $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 0,98 soda ash como Na_2CO_3 |

Fuente: Romero 2009.

pH óptimo para la coagulación

El valor del pH es uno de los factores de mayor importancia y efecto sobre el proceso de coagulación; de acuerdo con Haney (1987) el pH afecta la solubilidad de los precipitados formados por el hierro y el aluminio, así como el tiempo requerido para formación de *floc*

y la carga sobre las partículas coloidales. El pH óptimo para la remoción de coloides negativos varía según la naturaleza del agua, pero usualmente cae entre el pH 5,0 y 6,5.

En el caso de los coagulantes de aluminio, la solubilidad mínima del precipitado de hidróxido de aluminio a 25 °C ocurre a un pH de 6,3 y para el hidróxido férrico, a 25 °C, ocurre a un pH de 8,0. Además, hay que tener en cuenta que el pH para solubilidad mínima aumenta al disminuir la temperatura; por ejemplo, a 4 °C el pH para solubilidad mínima del hidróxido de aluminio es de 6,8 (Villegas, 2014).

Tabla 5

El pH óptimo de los coagulantes

| Coagulante | pH |
|---|-----------|
| Alumbre $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ | 4 – 7 |
| Cloruro férrico FeCl_3 | 5.5 – 6.7 |

Fuente: Romero 2009.

B. Ensayo de jarras para control del proceso de coagulación

Las pruebas más representativas para determinar el comportamiento de los coagulantes y floculantes a escala pequeña es el ensayo de “Prueba de jarras”.

Se realiza, entre otros, con los siguientes propósitos:

- Selección del tipo de coagulación más efectivo.
- Determinación del pH óptimo de coagulación.
- Evaluación de la dosis óptima de coagulante.
- Determinación de la dosis de ayuda de coagulación.
- Determinación del orden más efectivo de adición de los diferentes productos químicos.
- Determinación de los niveles óptimos de mezcla, gradientes de velocidad y tiempos de mezcla.
- Evaluación de la necesidad de proveer floculación y sedimentación previa a la filtración o factibilidad de filtración directa.

Este ensayo se ha usado ampliamente; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos mínimos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda. La unidad de mezcla típica consiste en una serie

de agitadores de paletas acoplados mecánicamente para operar a la misma velocidad, por lo general entre 10 y 100 RPM.

Tabla 6

Valores del gradiente de velocidad

| RPM | Valor de G, S ⁻¹ T=10°C Volúmenes de jarra cilíndrica | | |
|-----|---|------|--------|
| | 2 L* | 1 L+ | 0,5 L+ |
| 30 | 14 | 20 | 28 |
| 40 | 20 | 28 | 40 |
| 50 | 24 | 35 | 50 |
| 55 | 30 | 42 | 60 |
| 60 | 35 | 50 | 70 |
| 70 | 40 | 57 | 80 |
| 80 | 50 | 71 | 100 |
| 90 | 60 | 85 | 120 |
| 100 | 70 | 99 | 140 |

Fuente: Romero 2009.

Valores del gradiente de velocidad (G), para aparato de mezcla de laboratorio Phipps and Bird

La prueba de jarras es un método de simulación de los procesos de coagulación y floculación, realizado a nivel de laboratorio que permite obtener agua de buena calidad, fácilmente separable por sedimentación; los flóculos formados con diferentes dosis del coagulante dan como resultado valores de turbiedad diferentes.

Las pruebas de jarras se utilizan para determinar las dosis más efectivas de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y la floculación en una planta de tratamiento, especialmente cuando la calidad del agua fluctúa rápidamente. Se puede utilizar también con objeto de determinar las velocidades de sedimentación para el diseño de tanques de sedimentación y conocer el potencial del agua cruda para filtración directa (Arocha, 1997).

La prueba de jarras se ejecuta básicamente colocando en cinco o seis vasos de precipitado (en equipos modernos se usan cuatro vasos) o frascos de boca ancha de 1 a 3 litros de la muestra, agregándole diversas dosis de coagulantes a cada uno mientras se agita fuertemente la muestra y luego suspendiendo la agitación violenta y dejando por 10-30 minutos una agitación lenta, durante la cual se observa el aspecto y tamaño del floc formado en cada vaso.

Este ensayo intenta simular las condiciones en las cuales coagula el agua en la planta de tratamiento.

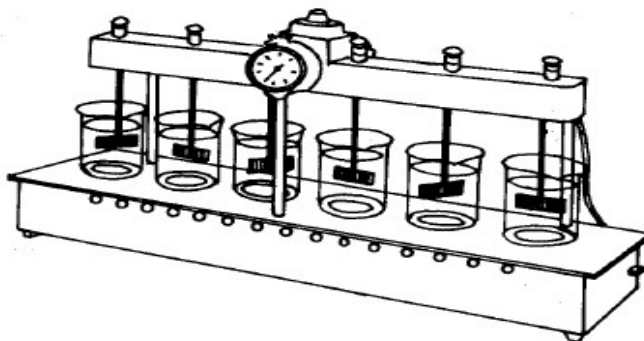


Figura 5. Aparato agitador para la prueba de jarras

Con la prueba de jarras se pueden realizar un considerable número de determinaciones, unas de orden cualitativo y otras, cuantitativo:

- ✓ **Observación visual.** - Es la que más comúnmente se hace. Consiste simplemente en observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver un agua más cristalina entre las partículas coaguladas. La comparación de los tamaños del floc no es fácil. Algunos prefieren estimarlo en milímetros en forma muy aproximada. Otros prefieren usar el índice de Wilcomb tal como se especifica en la tabla 7:

Tabla 7

Índice de Wilcomb

| Número del Índice | Descripción |
|-------------------|--|
| 0 | Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación |
| 2 | Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado. |
| 4 | Disperso. Floc bien formado, pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta) |
| 6 | Claro. Floc de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud. |
| 8 | Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente. |
| 10 | Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina. |

Fuente: Cano, 2012.

Las observaciones visuales de este tipo son cualitativas y dependen, por eso, grandemente del criterio de quien hace los ensayos.

✓ **Tiempo de formación del floc.**

Determinar en segundos el tiempo que tarde en aparecer el primer indicio de formación de floc, es uno de los sistemas para cuantificar la velocidad de la reacción. La iluminación de la base del agitador ayuda en esta determinación, la que ni aun así suele ser fácil, pues el floc cuando recién se forma suele ser incoloro. Por otra parte, el floc que recién se forma no necesariamente es el mejor. Cuando no se puede iniciar la coagulación simultáneamente en todas las jarras, debe tomarse con un cronómetro los tiempos en que se aplicaron los coagulantes a cada una.

✓ **Volumen del floc sedimentado**

Otra medida muy simple de hacer es verter en un cilindro graduado el agua coagulada, y medir al cabo de 24 horas la cantidad de lodos depositados. Cuando la muestra es bastante turbia o cuando proviene de una carpeta de lodos, se puede obtener una idea del porcentaje de sedimentos no compactados que se pueden esperar o concentración de sólidos en la suspensión. Con aguas ligeramente turbias la lectura del volumen de lodos se hace muy difícil.

✓ **Cantidad de coagulante**

Es una prueba muy útil para estimar la sobredosis de coagulantes, en especial cuando se usa sulfato de aluminio. Se ejecuta pipeteando 50 mL del sobrenadante de las pruebas de jarras, después de haber dejado sedimentar el agua por una o dos horas. Se determina el Al^{+++} en las porciones de 50 mL. El aluminio es soluble en proporción de un 0.2 a un 0.4 mg/L. por tanto cantidades mayores son indicativas de un exceso de coagulantes. Este ensayo suele hacerse rutinariamente con el agua sedimentada en las plantas de tratamiento, pero rara vez en las pruebas de jarras, no obstante que puede ser útil sobre todo para comparar entre dos dosificaciones, que producen aparentemente resultados similares. No debe dicho ensayo, por supuesto, tomarse como decisivo, puesto que no siempre la dosis que produce la más completa precipitación del coagulante residual, es la que produce la mejor floculación, principalmente cuando las cantidades que se usan son bajas.

✓ **Control del pH y la alcalinidad.**

Es aconsejable medir el pH y la alcalinidad antes y después del proceso de coagulación, debido a la importancia que estos factores tienen en la economía del tratamiento.

✓ **Turbiedad residual**

Las observaciones visuales para estimar el tamaño y la calidad del floc en las jarras, en realidad, dicen poco sobre la eficiencia y rapidez con la que se ha producido la clarificación del agua. Es por eso conveniente tomar el sobrenadante que se produce después de 30 – 60 min. de período de sedimentación, extrayendo 20 – 50 ml de muestra a 4 – 5 cm de profundidad desde la superficie. Para esta operación se puede usar una pipeta volumétrica de 100 ml o construir un sifón con tubo de vidrio de 1.5 mm de diámetro interno, la muestra así extraída se puede analizar directamente o por filtración. (De La Cruz & Orellana, 2011)

C. Sedimentación

Es una de las formas de tratamiento de aguas residuales más antiguas y de uso más extendida, emplea el asentamiento por gravedad para separar las partículas.

Es un método sencillo y económico que se puede aplicar en estanques redondos, cuadrados o rectangulares; la sedimentación se puede hacer después de una coagulación – floculación, el procedimiento de la sedimentación se emplea para:

- Separar la arcilla
- Concentrar los sólidos sedimentados (lodos crudos o primarios)
- Clasificar suspensiones biológicas y concentrar los flóculos sedimentados (llamados lodos biológicos, activados o secundarios)

El proceso de sedimentación de las aguas negras sin tratar elimina del 40 al 60% de los sólidos en suspensión del líquido que entra y el 30% de la DBO₅.

Los tanques de sedimentación también llamados clarificadores pueden ser:

- **Rectangulares:** Hasta 50m de longitud permiten una construcción más económica.
- **Circulares:** De 10m a 50m de diámetro los costos de mantenimiento son inferiores.

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el lixiviado. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el lixiviado. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada. Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que podemos referirnos a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculantes y sedimentación de partículas por caída libre e interferida. (Romero, 2009)

2.2.4. Valores máximos admisibles y límites máximos permisibles

Para la presente investigación se consideró los siguientes:

Tabla 8

Valores máximos admisibles (VMA)

| PARÁMETRO | UNIDAD | EXPRESIÓN | VMA PARA DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO |
|---|--------|------------------|--|
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | mg/L | DBO ₅ | 500 |
| Demanda química de oxígeno(DQO) | mg/L | DQO | 1 000 |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L | S.S.T. | 500 |
| Aceites y grasas | mg/L | A y G | 100 |
| pH | unidad | pH | 6-9 |
| Temperatura | °C | T | <35 |

Fuente: Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA.

(VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 9*Límites de descarga al sistema de alcantarillado público*

| Parámetros | Expresado como | Unidad | Límite máximo permisible |
|--|------------------------------|--------|--------------------------|
| Cobre | Cu | mg/l | 1,0 |
| Demanda bioquímica de oxígeno (5 días) | DBO ₅ | mg/l | 250,0 |
| Demanda química de oxígeno | DQO | mg/l | 500,0 |
| Fósforo total | P | mg/l | 15,0 |
| Hierro total | Fe | mg/l | 25,0 |
| Manganeso total | Mn | mg/l | 10,0 |
| Nitrógeno total Kjeldahl | N | mg/l | 60,0 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,5 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,5 |
| Potencial de hidrógeno | pH | | 6-9 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,5 |
| Sólidos sedimentables | | ml/l | 20,0 |
| Sólidos suspendidos totales | | mg/l | 220,0 |
| Sólidos totales | | mg/l | 1 600,0 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁼ | mg/l | 400,0 |
| Sulfuros | S | mg/l | 1,0 |
| Temperatura | °C | | <40,0 |

Fuente: Resolución N° 0631- 2015 – MINAMBIENTE, Colombia.

2.2.5. Descripción del área de estudio

El lugar donde se centró la presente investigación es el botadero municipal de la provincia de Moyobamba que en su jurisdicción según datos estadísticos brindados por la sala de gestión ambiental de la municipalidad provincial de Moyobamba (2014) presenta un 12.32% de los ríos contaminados y un 9.24% de suelos, todo esto sumado a que tenemos gran parte de los bosques deforestados, ocupando un desagradable tercer lugar en la región de San Martín después del El Dorado y Picota; la cual produce una gran variación de la temperatura ambiental.

Uno de los más graves problemas sanitarios que afectan a los pobladores aledaños, lo constituye la mala disposición final de los residuos sólidos, los cuales son arrojados en el botadero municipal desde hace 8 años sin ninguna consideración técnica, los mismos que emiten gases tóxicos, además la descomposición de los residuos sólidos genera gran cantidad de lixiviados con aguas totalmente negras conduciendo a la liberación de peligrosos contaminantes, que constituyen un grave problema sanitario, causante de efectos adversos al medio ambiente y a la salud humana. Existen otros aspectos relevantes que agravan este problema, como, por ejemplo, la producción de todo tipo de contaminantes tóxicos, focos puntuales de proliferación de microorganismos y la

proliferación de vectores que se convierten en causantes de diversas enfermedades infecciosas, además, no existe un reciclaje formal, dado que hay personas en el botadero que realizan el reciclaje como forma de subsistencia, los residuos sólidos en pocos casos son enterrados mediante la construcción de celdas, además existe una gran presencia de gallinazos en el sector, que tiene efectos negativos en los pobladores del área aledaña.



Figura 6. Área de disposición final de residuos sólidos de Moyobamba – Perú

El actual botadero municipal, se encuentra ubicada a 5.1 Km en la carretera Moyobamba – Yantalo, el área destinada es de 4.76 hectáreas.

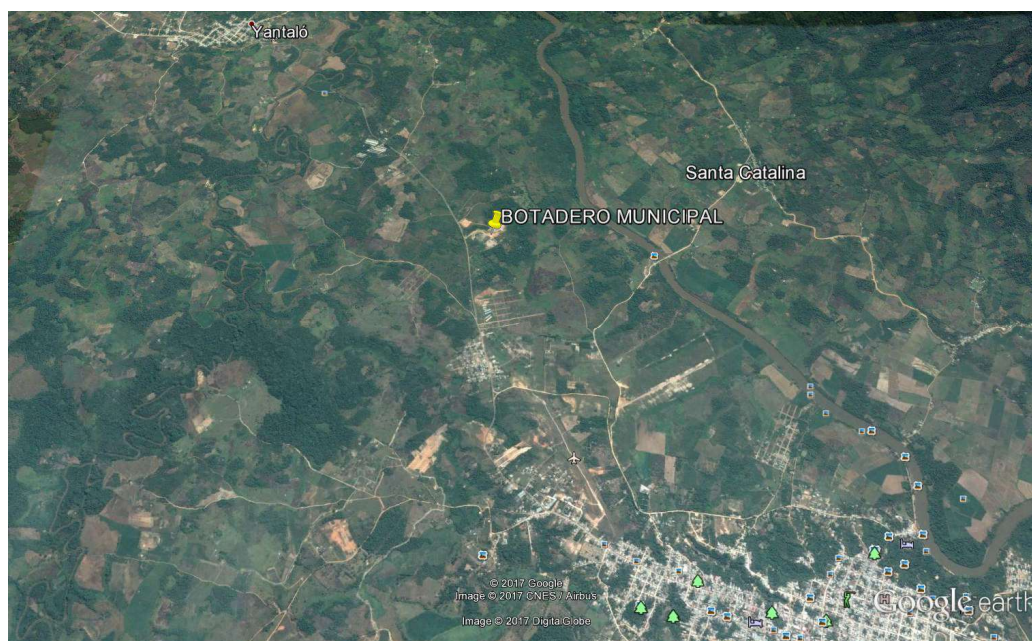


Figura 7. Imagen satelital del botadero municipal de Moyobamba. Fuente: Google Earth, 2017

2.3. Definición de términos básicos

Afluente. – Lixiviado u otro líquido que ingresa a una o proceso de tratamiento.

Aireación. - Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Clarificación fisicoquímica. - Consiste en la eliminación de las partículas en suspensión y en estado coloidal, metales pesados y otros contaminantes tóxicos por precipitación. Involucra proceso de coagulación, floculación y sedimentación y el elemento fundamental para el éxito de este proceso es determinar el coagulante o la combinación de coagulante más eficiente que se relacionan necesariamente con las características fisicoquímicas del líquido (Pineda, 1998)

Coagulación. - Aglomeración de partículas coloidales ($< 0,001$ mm) y dispersas ($0,001$ a $0,01$ mm) en coágulos visibles, por adición de un coagulante.

Coagulante. - Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). - Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C).

Demanda química de oxígeno (DQO). - Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del lixiviado, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio.

Difusor. - Placa porosa, tubo u otro artefacto, a través de la cual se inyecta aire comprimido u otros gases en burbujas, a la masa líquida.

Disposición final. - Procesos u operaciones para tratar o disponer en un lugar los residuos sólidos como última etapa de su manejo en forma permanente, sanitaria y ambientalmente segura.

Eficiencia del tratamiento. - Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.

Efluente. - Líquido que sale de un proceso de tratamiento.

Floculación. - Formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación.

Flóculos. - Partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante.

Impacto ambiental. - Cambio o efecto sobre el ambiente que resulta de una acción específica.

Límite máximo permisible (LMP). - Es la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Lixiviado. - líquido que se genera por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de descomposición. El lixiviado es considerado como el líquido más contaminante generado en un relleno.

Manejo de residuos sólidos. - Toda actividad técnica operativa de residuos sólidos que involucre manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo utilizado desde la generación hasta la disposición final.

Muestra compuesta. - Combinación de alícuotas de muestras individuales (normalmente en 24 horas) cuyo volumen parcial se determina en proporción al caudal del agua residual al momento de cada muestreo.

Muestreo. - Toma de muestras de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar.

pH. - Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Parámetro: Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica de un efluente que define su calidad y que se encuentra regulado por norma.

Relleno sanitario. - Instalación destinada a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos en la superficie o bajo la tierra, basados en los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental.

Residuos domiciliarios. - Son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios, constituidos por restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.

Riesgo significativo. - Alta probabilidad de ocurrencia de un evento con consecuencias indeseables para la salud y el ambiente.

Sedimentación primaria. - Remoción de material sedimentable presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

Sedimentación secundaria. - Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

Tratamiento. - Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar la característica física, química o biológica del residuo sólido, a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de causar daños a la salud y el ambiente.

Valores máximos admisibles (VMA). – Es aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis de investigación

“La aplicación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación disminuye significativamente los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados (materia orgánica en términos de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno: DBO₅) del botadero municipal de la provincia de Moyobamba”

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variable independiente

- ✓ Coagulación, floculación y sedimentación

3.2.2. Variable dependiente

- ✓ Clarificación fisicoquímica de lixiviados del botadero.

Tabla 10

Operacionalización de la variable independiente

| VARIABLE | DIMENSIÓN | INDICADORES | INSTR. | UND. |
|--|---------------|--|-------------------|---------|
| Coagulación, floculación y sedimentación | Coagulación | ✓ Determinación de dosis óptima mediante prueba de jarras. | Test de jarras | mg/L |
| | Floculación | ✓ Potencial de hidrógeno óptimo | pH-metro | ----- |
| | | ✓ Gradiente óptima de la floculación. | Inclinómetro | ----- |
| | | ✓ Velocidad de sedimentación | Prueba de jarras. | mm/min |
| | Sedimentación | ✓ Tiempo de sedimentación | Prueba de jarras | minutos |

Tabla 11

Operacionalización de la variable dependiente

| VARIABLE | DIMENSIÓN | INDICADORES | INSTR. | UND. |
|--|-----------|---|------------------|-------|
| Clarificación fisicoquímica de lixiviados del botadero | Físicos | ✓ Turbidez | Turbidímetro | UNT |
| | | ✓ Temperatura | Termómetro | °C |
| | Químicos | ✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | Botellas Winkler | mg/L |
| | | ✓ Potencial de hidrógeno(pH) | pH-metro | ----- |

3.3. Tipo y nivel de investigación

3.3.1. De acuerdo a la orientación

- Aplicada.

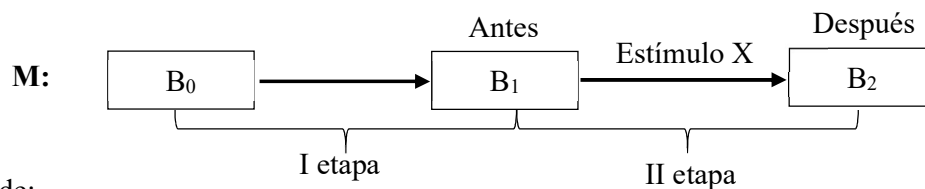
3.3.2. De acuerdo a la técnica de contrastación

- Explicativa.

3.4. Diseño de la investigación

Se utilizó el diseño pre experimental llamado diseño en sucesión, en línea o de preprueba – postprueba con un solo grupo adaptado por los autores.

Diagrama del diseño:



Donde:

M.: Muestra.

B₀: Caracterización del lixiviado crudo.

B₁: Medición de parámetros del lixiviado luego de la primera etapa.

B₂: Medición de parámetros del lixiviado luego de la segunda etapa.

X: Coagulación, floculación y sedimentación.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población estuvo conformada por el caudal de lixiviados generado en toda el área del botadero municipal de la provincia de Moyobamba, en la actualidad es de 150.7m³/día.

3.5.2. Muestra

Para la realización del presente estudio se utilizó una muestra cuyo volumen de lixiviado crudo fue de 208 L.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Las técnicas que se utilizaron son:

- **Observación sistemática:** Permitió recabar información diagnóstica para complementar la caracterización del problema y realizar apreciaciones de la muestra de estudio.
- **Fichaje:** Esta técnica sirvió para la transcripción de teorías relacionadas con el tema, objeto de investigación.
- **Muestreo:** El tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional mediante la selección en puntos representativos del botadero, debido a que no presenta una descarga puntual de los lixiviados.
- **Caracterización de los lixiviados:** Se midieron diferentes parámetros para la caracterización del lixiviado producido por el botadero municipal como temperatura, pH, turbiedad, DBO₅ y DQO para realizar el cálculo del dimensionamiento de la planta de tratamiento a escala con sus componentes aireador, sedimentador y floculador biológico.
- **Ensayos de laboratorio:** Técnica que permitió medir los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados, antes y después del experimento.

Tabla 12

Métodos de ensayo

| ENSAYO | UNIDAD | MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO |
|---|---------------------|---|
| Temperatura | °C | Termométrico, Standard Methods for examination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 2550 HB (ED 21 2005). |
| pH | --- | Potenciómetro, Standard Methods for examination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 4500 HB (ED 21 2005). |
| Turbiedad | UNT | Turbidímetro, Standard Methods for examination of Water and Wastewater AWWA, APHA, WEF 4500 HB (ED 21 2005). |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) | mgO ₂ /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-day BOD Test. |
| Demanda química de oxígeno (DQO) | mgO ₂ /L | SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Methods. |

Fuente: Resultados de laboratorio.

3.6.2. Instrumentos

- **Cooler:** Usado para conservar las muestras a una temperatura ambiental y trasladar al laboratorio sin causar alteraciones.
- **Frasco de reactivo:** Utilizado para recolectar las muestras de lixiviado y transportar al laboratorio, tanto de lixiviado crudo, pretratado y con tratamiento.
- **pH – metro:** Usado para detectar de forma rápida y precisa el valor pH y la temperatura. Gracias a la indicación doble en la pantalla del pH – metro, ambos valores se muestran simultáneamente.
- **Turbidímetro:** El turbidímetro permitió determinar el valor en FTU (Formazine Turbidity Unit, siglas en inglés). Esta unidad es idéntica con unidad nefelométrica de turbiedad UNT cuyo parámetro es un indicador de eficiencia en el presente trabajo de investigación.
- **Test de jarras:** Permitted determinar la dosis óptima del coagulante mediante varias pruebas a diferente pH con sulfato de aluminio tipo A y cloruro férrico.
- **Vaso de precipitado:** Utilizado en el laboratorio, sobre todo, para colocar la muestra y realizar la prueba o test de jarras.
- **Espectrofotómetro:** Instrumento usado para medir parámetros como turbiedad y DBO₅ con mayor precisión durante los ensayos el cual tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática (de un largo de onda particular) a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra.
- **Tablas:** Se usaron para registrar los datos de campo y resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio.

3.6.3. Procedimiento

La presente tesis de investigación se llevó a cabo en dos etapas:

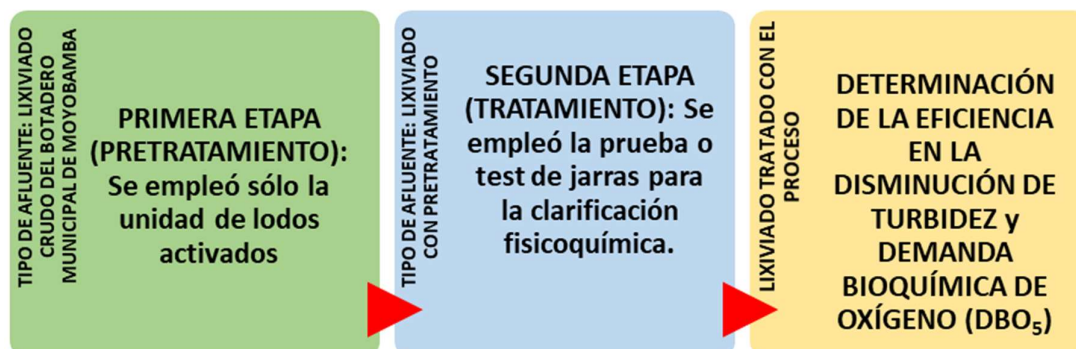


Figura 8. Esquema metodológico del proceso de investigación

Primera etapa (Pre tratamiento)

En esta etapa se diseñó, construyó y adecuó un sistema de lodos activados, con la finalidad de saturar los sólidos presentes y probar su eficiencia en la disminución de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), utilizando para esto un equipo de aireación y sedimentación.

A. Sedimentador Primario

El Sedimentador primario es el primer componente de la planta piloto, su función es remover en un porcentaje los sólidos sedimentables del lixiviado crudo, antes de entrar al tanque de aireación.

a) Componentes

- Tanque azul de 208 litros.
- Manguera de plástico de ½”.
- Flotador de plástico.



Figura 9. Tanque de 208L

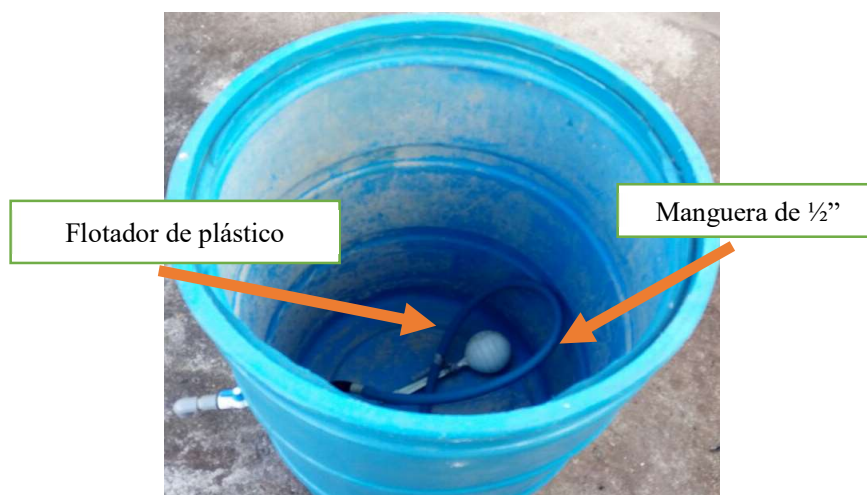


Figura 10. Componentes internos del sedimentador

Se utilizó un flotador amarrado en un extremo de la manguera, el otro extremo de la manguera se conectó al tubo de salida del tanque azul. La finalidad es que cuando se llene el tanque azul con el lixiviado, el flotador mantenga el extremo amarrado de la manguera justo en el nivel superior de agua, para que así no se tome el lixiviado sedimentado del fondo del tanque, tampoco las partículas flotantes en el nivel del agua, y de esta forma no se atoren los conductos que dirigen el lixiviado hacia el tanque aireador, es así que este tanque de 208 Litros no funciona solo como tanque de almacenamiento, sino también como sedimentador primario.

B. Entrada al tanque de aireación

Conformada por una tubería flexible transparente que une el tanque sedimentador primario con el tanque de aireación.

a) Componentes

1. Tubería de plástico transparente de 1/8"
2. Caño con válvula de 1/2"
3. Tee de PVC de 1/8"

b) Instalación



Figura 11. Sedimentador primario

La botella de plástico que se observa, sirve para disminuir el diámetro de salida del tanque azul hasta 1/8", a la salida de la botella de plástico se conectó una manguera de plástico de 1/8" que conecta el tanque de 208 L con el tanque de aireación, el caudal aproximado del lixiviado que pasa del tanque azul al tanque de aireación es de 2.4 ml/seg.

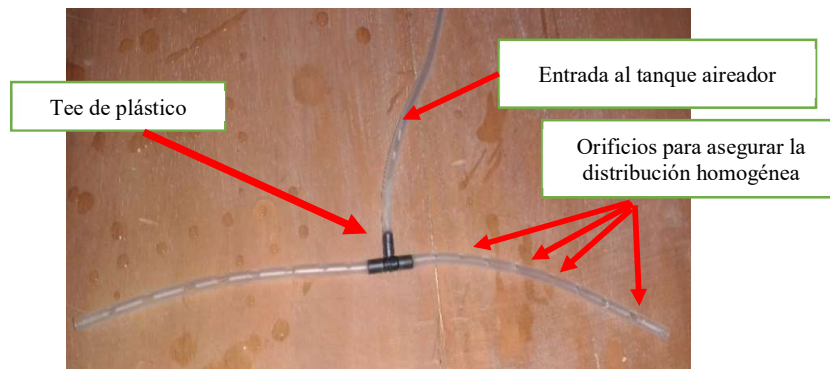


Figura 12. Tee de entrada al tanque de aireación

La entrada al tanque de aireación tiene forma de “T”, para que el lixiviado entre por la parte de arriba y se distribuya homogéneamente en el fondo del tanque, para ambos lados (derecho e izquierdo).

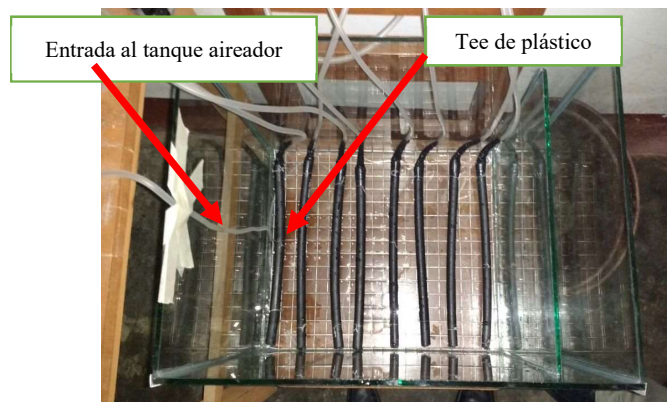


Figura 13. Difusores de aire

El ingreso del lixiviado será sumergido por debajo de los tubos difusores de aire; de esta forma el lixiviado tendría mayor tiempo de contacto dentro del tanque aireado, ingresando por el fondo hacia la superficie, además los lodos generados en el fondo, generarán un tratamiento previo al lixiviado, que luego pasará por un proceso de oxigenación.

C. Tanque de aireación (Reactor aerobio)

Antes del tratamiento fisicoquímico, el tanque de aireación es el componente más importante de nuestra planta piloto, en ella el lixiviado y el lodo biológico (microorganismos) son mezclados y aireados en un tanque de vidrio o reactor, en este ocurre el proceso de oxidación de la materia biodegradable, formándose así flóculos biológicos.

Tabla 13

Dimensionamiento del aireador

| CÁLCULOS DEL TANQUE DE AIREACIÓN | | | | | |
|--|----------|----------------|--------|---|-------------------------|
| CANTIDAD DE DBO DE ALIMENTACIÓN DIARIA | | | | La botella de plástico a la salida del tanque, sirve para disminuir el diámetro de salida hasta 1/8", a la salida de la botella de plástico se conectó una manguera de 1/8" que conecta al tanque de 208L con el tanque de aireación, el caudal aproximado del lixiviado que pasa es de 2.4 ml/seg. | |
| 14678 | 1000 | 0.21 | 3.08 | | |
| | | | | | |
| CAUDAL DE AIRE PARA LA REMOCIÓN DE LA DBO ₅ | | | | | |
| 3.08 | 154 | 1440 | 0.33 | Es decir, para remover los 14678 mg DBO ₅ /L se necesita un caudal de aire de 0.33 m³ aire/min | |
| | | | 0.0055 | | |
| CÁLCULO DE LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA | | | | P _{H2O} =ρgh | |
| 1200 | 9.8 | 0.35 | 4116 | | |
| PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN PSI | | | | | |
| 4116 | 14.7 | 101325 | 0.60 | P _{absoluta} = P _{atm} + P _{H2O} | |
| PRESIÓN ABS. = Patm + PH ₂ O | | | | | |
| 14.7 | 0.60 | | 15.30 | | |
| | | | 79.12 | | |
| AUMENTO DE LA TEMPERATURA EN EL AIRE EN LA COMPRESIÓN | | | | | |
| 23 | 273 | 0.8 | 370 | | |
| 15.30 | 14.7 | 0.283 | 0.01 | 4.19 | Aumento de la T° en ° C |
| TEMPERATURA DE SALIDA | | | | $\Delta T_{ad} = \frac{T_1}{n} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0.283} - 1 \right]$ | |
| 23 | 4.19 | | 27.19 | | |
| CAUDAL DE ENTRADA DE AIRE PARA EVITAR QUE SE AFECTE EL PROCESO | | | | | |
| Q ₁ | 0.29 | Q ₂ | 0.33 | Caudal correcto de entrada de aire | |
| P ₁ | 14.7 | P ₂ | 15.30 | $Q_1 = \frac{T_1 P_2 Q_2}{P_1 T_2}$ | |
| T ₁ | 23 | T ₂ | 27.19 | | |
| VELOCIDAD A LA SALIDA DEL COMPRESOR | | | | | |
| v | 41635.72 | 693.928621 | | | |
| Q ₂ | 0.33 | | | | |
| D | 0.003175 | | | | |
| π | 3.1416 | | | | |
| POTENCIA DEL COMPRESOR (P) | | | | $P = 0.22Q \left[\left(\frac{p}{14.7} \right)^{0.283} - 1 \right]$ | |
| 0.22 | | | | | |
| 0.8 | | | | | |
| 0.33 | 0.0283 | 11.65 | | | |
| 15.30 | | | | | |
| P | 3.20 | 0.01 | 0.04 | Potencia en HP | |
| | | 745.7 | 27.07 | Potencia en watts | |
| | | 5.4 | 5.01 | Número de bombas de 5 W cada una | |

| | | | |
|---|-----------------------------|-------------|----------------------|
| En nuestras mediciones estimamos un caudal de Lixiviados de 1.74 L/seg | | | |
| Producción de lixivados=1.74 L/seg =150.7 m³/día | | | |
| Tomando en consideración el criterio de diseño para digestores aerobios. | | | |
| Parámetro | Valor | | |
| Tiempo de detención hidráulica, días a 20°C | | | |
| LODO ACTIVO SOLAMENTE | 12 a 16 | Dh = 15 | |
| Lodo activado de planta operada sin sedimentación primaria | 16 a 18 | | |
| Lodo primario más activado o de filtro percolador | 18 a 22 | | |
| Carga de sólidos, kilogramos de sólidos volátiles/metros cúbicos/día | 0.1 a 0.20 | | |
| Necesidades de oxígeno, kilogramos/kilogramos de tejido celular destruidos | aprox. 2 | | |
| DBO ₅ en lodo primario | 1.6 a 1.9 | | |
| Necesidades de energía para el mezclado | | | |
| Aireadores mecánicos, kW/metro cúbico de tanque | 0.013 a 0.026 | | |
| Mezclado por aire, metros cúbicos de aire en condiciones normales por metro cúbico de tanque | 0.02 a 0.03 | | |
| Nivel de Oxígeno disuelto en el líquido, mg/L | 1 a 2 | | |
| Reducción de sólidos suspendidos volátiles, % | 35 - 50 | | |
| Tomando un tiempo de detención hidráulica de 15 días | | | |
| Volumen de reactor = 150.7 m³/día * 15 días = 2260.5 m³ | 2260.5 | | |
| Asumiendo un modelo de caja Cúbica | | | |
| L (Ancho del reactor) | 13.12405889 | | |
| Tomando L = 13.125 m | 13.125 | | |
| En nuestro modelo a escala consideraremos: | 1 cm = 0.375 m | | |
| 4cm=1.5m | 0.375 | | |
| L (Ancho del reactor a escala) | 35 | en cm | |
| | L 0.35 | en m | |
| La distancia entre cada tubería difusora de aire debe de ser de 1.5 metros. | | | |
| Nº de tuberías en paralelo | 1.5 | en m | |
| | 8.75 | 9 | |
| Cálculo del diámetro de burbuja y difusores: | | | |
| Burbujas | Régimen | Eficiencia | Tamaño de Burbuja |
| Burbuja simple o fina | 0 < N _R < 200 | 10-30% | 2-5 mm |
| Burbuja intermedia semifina | 200 < N _R < 2000 | 6-15% | 6-10 mm |
| Burbuja a chorro | N _R > 2000 | 4-8% | 10 mm |
| Teniendo en cuenta que el diámetro de los difusores debe estar entre 2 y 5 mm (en el régimen de burbuja fina), y que la transferencia de masa se lleva a cabo con una mayor eficiencia entre menor tamaño de burbuja, se calcula el diámetro de los difusores, para un diámetro de burbuja de 2 mm: | | | |
| $d_o = \frac{d_b^3 g (\rho_l - \rho_g)}{6\sigma}$ | | | Diámetro del difusor |
| $\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367T} \left(\frac{H}{76} \right)$ | | | Densidad del gas |
| H: Presión del gas en cm Hg | | | |
| | pg | 1.22 | en kg/m³ |
| | do | 0.000180047 | en m |
| | do | 0.180046651 | en mm |
| Frecuencia de formación de burbuja | | | |
| $f = \frac{Q}{\pi d_b^3}$ | | | f |
| | | | 1.31E+06 |

Fuente: Benefield & Randall, 1980; Romero, 2009.

Fuente: Benefield & Randall, 1980; Romero, 2009.

Especificaciones:

- El tanque de aireación se construyó con vidrio, sus dimensiones son de 0.5 x 0.35 x 0.35 m, con un volumen utilizable de 30 L.
- El lixiviado tratado fluye por rebose a través de una celda contigua, y es recolectada en esta, para luego pasar a la siguiente etapa de tratamiento.



Figura 14. Tanque de aireación

Las dimensiones del tanque aireador están hechas a escala de laboratorio. Se fabricó de vidrio transparente con el objeto de observar lo que acontece dentro, así como observar la distribución homogénea del oxígeno dentro del tanque.

En la figura 14 se puede ver la salida de nuestro tanque aireador, es una celda que recoge el efluente por la pantalla de rebose generada, en el fondo de la celda se puede observar una manguera en forma cónica por la que sale el lixiviado y va al sedimentador secundario. El sistema de aireación también fue para la reducción de olores desagradables que son característicos de los lixiviados, además en la práctica tendrá buenos resultados por el alto caudal que se genera en el botadero, esto sumado con las precipitaciones pluviales características de la provincia de Moyobamba.

D. Sedimentador o clarificador secundario

El sedimentador o clarificador secundario es un componente que se encuentra después del tanque de aireación (donde se realiza el tratamiento biológico). En esta unidad ocurre la primera floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado. Este sedimentador se diseñó con la finalidad de reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la concentración de sólidos en suspensión del lixiviado, antes de la clarificación fisicoquímica.

a) Componentes

- La unidad está construida con material de vidrio de 0.5 mm de espesor, y tiene 0.35x0.35x0.35 m de dimensiones.
- Debido a que nos resultaba complejo el ingreso a esta unidad, realizamos el ingreso del lixiviado por el centro del clarificador con una manguera transparente de 1/8", sujeta a la superficie inferior del cono invertido con silicona.
- La salida del lixiviado de esta unidad es por rebose por una pantalla de flujo descendente, que va a los canales inferiores perimetrales del tanque contenedor, y que cumple la función de un sedimentador final, luego pasa por una manguera de salida y es ahí donde el lixiviado pasa finalmente a la etapa de clarificación fisicoquímica.



Figura 15. Flocculador biológico

En la figura 15 se puede observar el sedimentador o clarificador secundario; este componente se encuentra seguido del reactor o tanque de aireación. Al igual que la unidad de aireación se construyó con material de vidrio transparente de 5 mm de espesor,

con la finalidad de visualizar lo que ocurre en esta etapa, la forma de pirámide invertida se debe a que de esta forma los flóculos a sedimentar se dirigirán hacia el fondo en la parte central. La entrada es a través de una manguera transparente y flexible de 1/8" que viene del recojo del lixiviado del tanque de aireación, y que ingresa por debajo de la pirámide invertida. La salida del lixiviado tratado es recolectado por rebose a través de una celda contenedora perimetral, la que a su vez tiene una manguera de 1/8" conectada en una de las esquinas inferiores, y que recolectan el lixiviado, para luego ser clarificado con reactivos fisicoquímicos.

E. Equipo utilizado para la aireación

1. 05 bombas de aireación de 5 W de potencia y 220 V de una sola salida. Cada bomba ELITE801 puede suministrar 4 L/min de aire con una presión de 4×10^{-2} MPa.
2. 09 tuberías difusoras de aire de material flexible de color negro (utilizado para refrigeración en motores de autos) con una longitud de 30 cm cada una.
3. Tuberías de plástico siliconadas de 1/8" que conectan las tuberías difusoras con nuestras bombas de aireación.

a) Bombas de aireación

Se utilizó un equipo de aireación que consistía en 05 bombas para pecera de 5 W de potencia, cada una con una salida de aire. Cada salida suministra 4 L/min de aire, se utilizaron estos modelos debido al tamaño pequeño de la unidad de lodo activados y la rentabilidad de estos equipos.

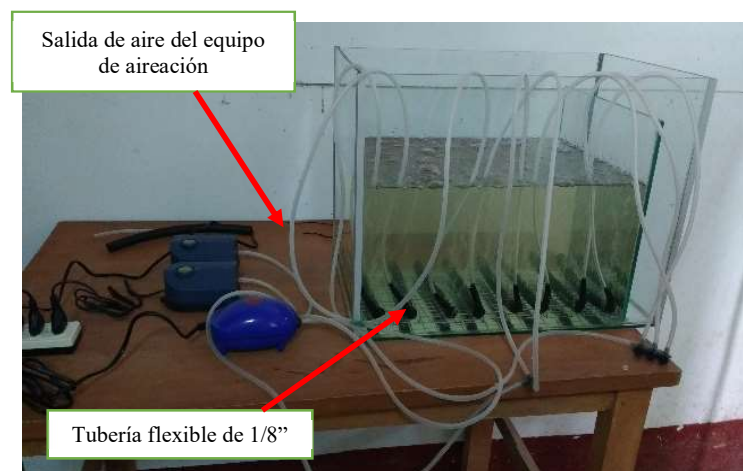


Figura 16. Bombas de aireación

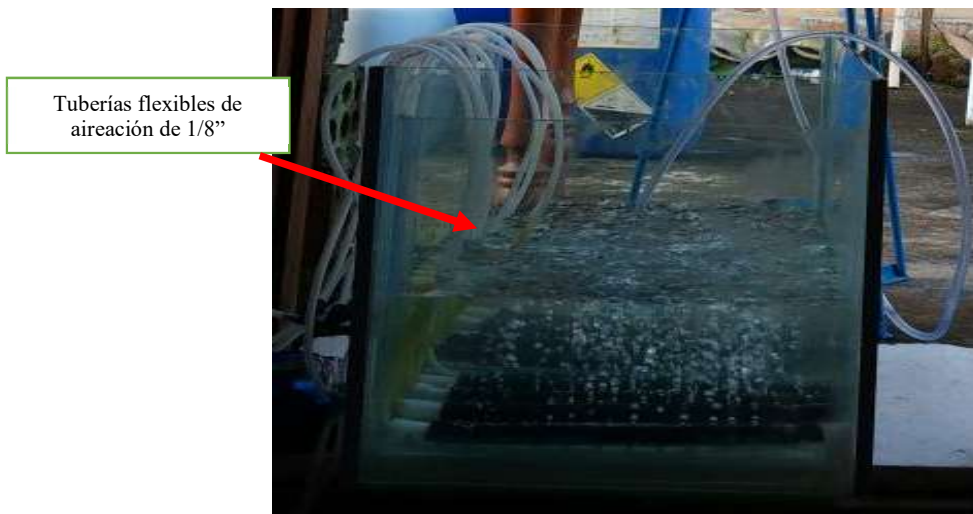


Figura 17. Inicio del proceso de tratamiento

En la figura 17 se puede observar la instalación del equipo de aireación en el reactor o unidad de lodos activados. Las salidas de aire están conectadas con tuberías de flexibles de 1/8", estas tuberías a su vez están conectadas con tuberías difusoras de burbuja fina colocadas dentro del tanque de aireación.

F. Tuberías difusoras



Figura 18. Tuberías difusoras

En la figura 18 se puede observar la forma de distribución de las tuberías difusoras de burbuja finas de aires de 30 cm de largo. Las tuberías que elegimos carecen de agujeros, tuvimos que hacerlas con un punzón, distribuyéndolas lo más simétricas posible, de tal forma que el aire de salida parezca una cortina de aire, esto favorece la transferencia de oxígeno y mejora la eficiencia de la unidad de aireación. Colocamos las tuberías difusoras

encima de una malla metálica, para evitar que floten y mejorar la homogeneidad en la distribución de las tuberías en el fondo de tanque aireador.

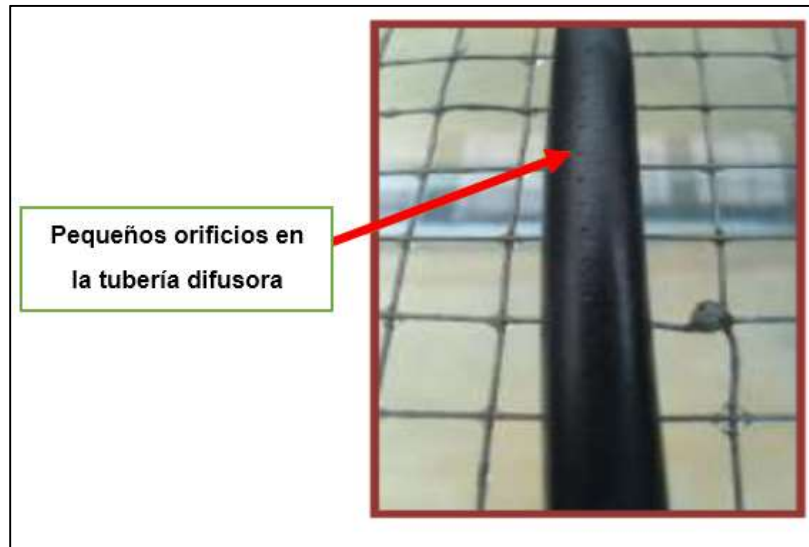


Figura 19. Orificios de la tubería difusora

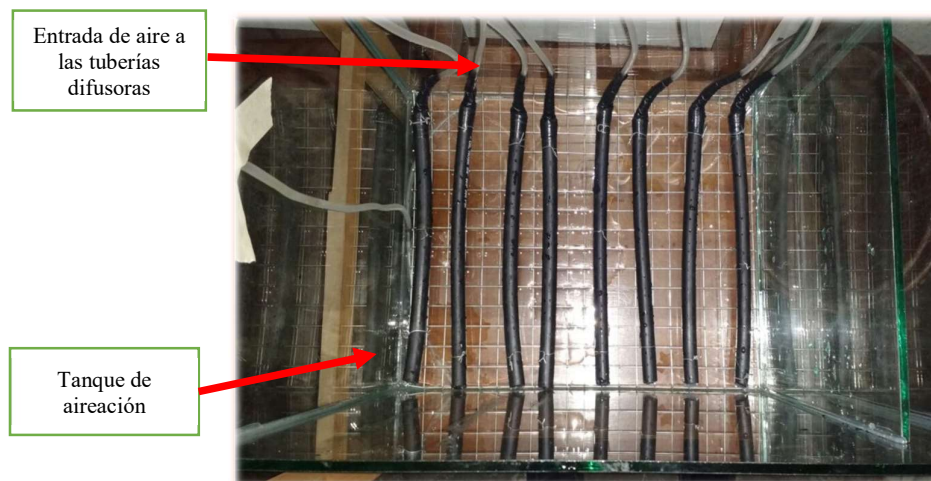


Figura 20. Sistema de aireación

En la figura 19 se muestra el detalle de las tuberías negras de cortina de aire, e donde se aprecia los pequeños orificios de salida. En esta etapa estos pequeños agujeros fueron limpiados periódicamente debido a que, por el material de fibra de las tuberías, los agujeros tendían a cerrarse o a obstruirse con los sólidos suspendidos.

En la figura 20 se puede observar las 08 tuberías flexibles de color negro y de 30 cm de largo, se puede ver cómo están conectadas por uno de sus extremos a las mangueras transparentes, que a su vez están conectadas a las bombas de aire.



Figura 21. Homogeneidad de la aireación

Segunda etapa (Tratamiento)

Determinación de la eficiencia en la disminución de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del lixiviado del botadero municipal, empleando la clarificación fisicoquímica con sulfato de aluminio: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ y cloruro férrico: $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, después del piloto de lodos activados utilizados en la primera etapa.

A. Caracterización

El primer paso para el tratamiento de un lixiviado es conocer su composición, para así emplear la técnica más adecuada, debido a ello se analizó el lixiviado crudo proveniente del botadero municipal de la ciudad de Moyobamba.

Para la realización del análisis de calidad, se muestreo in situ los lixiviados del botadero municipal de la ciudad de Moyobamba.



Figura 22: Muestreo in situ



Figura 23: Lixiviado del botadero municipal



Figura 24: Muestra de lixiviado crudo

Se tomaron muestras consecutivas durante los meses de febrero, abril, mayo, y junio, en el primero de los cuatro muestreos se realizó un análisis completo para conocer la calidad y características fisicoquímicas y bacteriológicas del lixiviado crudo, en los siguientes muestreos solo se analizaron los que caracterizan a la carga orgánica del lixiviado crudo.

B. Neutralización del pH

Se realizaron las mismas pruebas que a pH neutro para comprobar lo predicho por la literatura que indica que a pH ácido los resultados de coagulación son mejores.

Para la neutralización del lixiviado se utilizó sosa caustica (KOH), por un proceso de percolación a partir de la ceniza producto de la quema de madera en el distrito de Yantaló, luego de producirla pasamos a medir su concentración, para ello utilizamos ácido acético

concentrado (16 Molar), titulamos con fenolftaleína y anaranjado de metilo, lo que nos dio un valor para la sosa de 4.2 Molar.

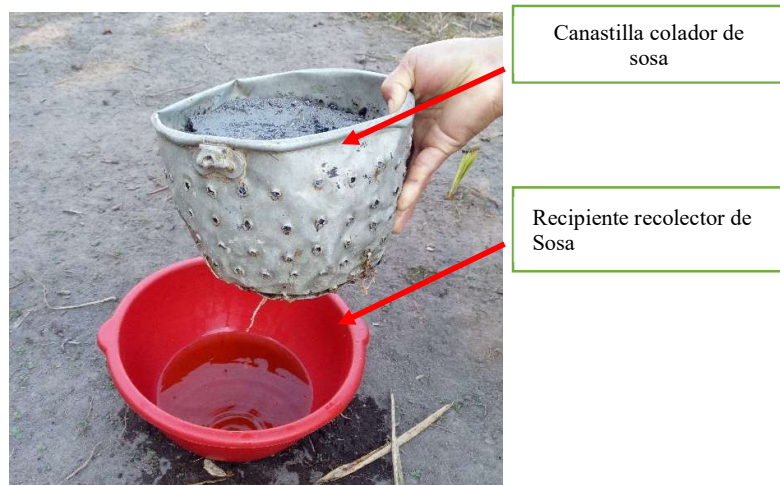


Figura 25. Extracción de sosa



Figura 26. Titulación de la sosa



Figura 27. Materiales y reactivos para la titulación

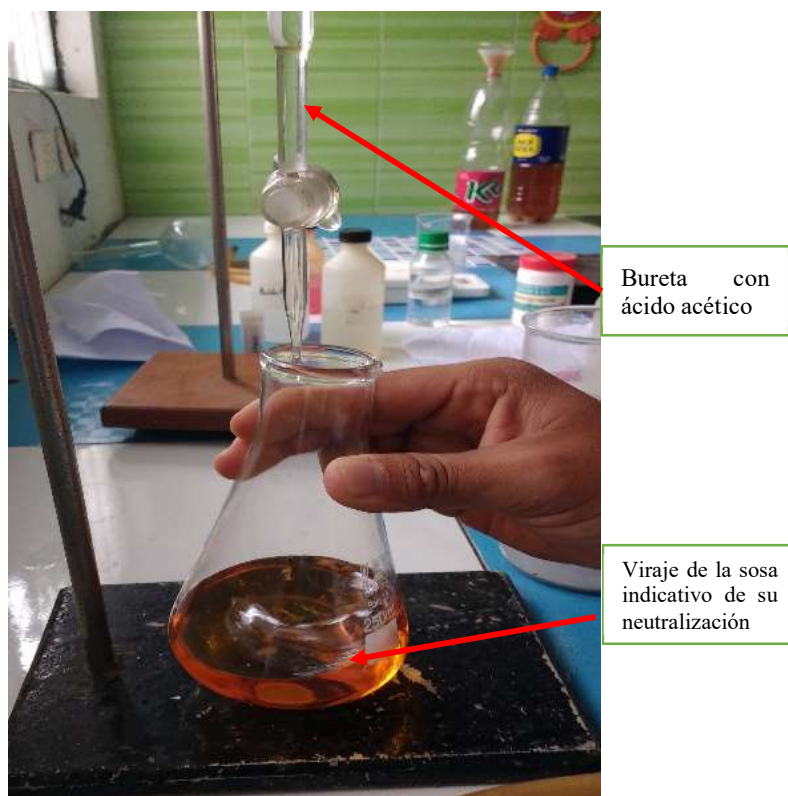


Figura 28. Sosa neutralizada

C. Prueba o test de jarras

Luego de ser evaluada la composición de los lixiviados se procedió a analizar cuál y con qué condiciones óptimas debe ser aplicado el reactivo químico coagulante, para ello se realizaron las pruebas de jarras con sulfato de aluminio y cloruro férrico, y con la simulación de condiciones de turbulencia.



Figura 29. Equipo de prueba de jarras utilizado

La prueba de jarras se realizó de la siguiente manera:

- a) Ensayos I: Se planteó el uso de los reactivos sulfato de aluminio y cloruro férrico, por ser los más comerciales, de bajo costo y probados en ensayos anteriores en lixiviados, en procesos de coagulación.
 - ✓ Basados en experiencias anteriores comenzamos con la dosis de 500 mg/L a un pH de 4.3, luego aumentamos las dosis a 1000, 5000, 10000 y 15000 mg/L.
 - ✓ En cada uno de los ensayos se procedió a medir la turbidez.
- b) Ensayos II: Para la determinación de los parámetros óptimos del proceso se hicieron mediciones a las siguientes concentraciones:
 - i. Ensayo para la determinación de la dosis óptima: Ensayos con diferentes concentraciones para la obtención de la dosis óptima:
 - ✓ Ensayos con rango de dosis de 500 mg/L
 - ✓ Ensayos con rango de dosis de 1000 mg/L
 - ✓ Ensayos con rango de dosis de 5000 mg/L
 - ✓ Ensayos con rango de dosis de 10000 mg/L
 - ✓ Ensayos con rango de dosis de 15000 mg/L
 - ii. Ensayo para la determinación de la concentración óptima
 - ✓ Ensayo al 5%
 - ✓ Ensayo al 20%
 - ✓ Ensayo al 40%
 - ✓ Ensayo al 50%

iii. Ensayo para la determinación del pH óptimo

- ✓ Ensayo a pH ácido
- ✓ Ensayo a pH neutro

iv. Ensayo para la determinación de la gradiente óptima

- ✓ Ensayos a 20 s^{-1}
- ✓ Ensayos a 40 s^{-1}
- ✓ Ensayos a 50 s^{-1}
- ✓ Ensayos a 60 s^{-1}
- ✓ Ensayos a 80 s^{-1}

D. Pruebas de muestra tratada

Una vez determinados los parámetros óptimos para el proceso se procedió con ensayos finales para la evaluación del lixiviado tratado en la primera etapa y en condiciones óptimas, con el reactivo más eficiente.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento, análisis e interpretación de datos se realizó a través de la estadística descriptiva e inferencial mediante el software estadístico Minitab:

Los datos son presentados mediante tablas y figuras estadísticas de todas las pruebas realizadas como:

- ✓ Resultados obtenidos en la caracterización
- ✓ Resultados de la prueba de jarras, dosis óptima del coagulante
- ✓ Resultados de prueba de jarras pH óptimo del lixiviado
- ✓ Resultados de ensayos finales.
 - Resultados de mediciones de temperatura y pH.
 - Resultados de Turbiedad
 - Resultados de mediciones de DBO_5 del lixiviado.

➤ Estadística descriptiva:

Se utilizó la estadística descriptiva para procesar los datos obtenidos durante la aplicación de los instrumentos de investigación con los pasos recopilación, organización y presentación de la información mediante:

- ***Figuras estadísticas:*** Se utilizaron para presentar los datos de tal modo que se pueda percibir fácilmente los hechos esenciales y compararlos con otros, tener una representación visual de la totalidad de la información y representar las distribuciones de frecuencias.
- ***Análisis e interpretación de datos:*** Se utilizó la técnica de interpretación nomotética e ideográfica para pasar de la descripción de los datos a la comprensión de las características de los datos, después de la aplicación de la variable independiente o aplicación del estímulo.
- ***Estadística inferencial:*** Se utilizó la estadística inferencial mediante la aplicación de la prueba estadística t – student pareada para contrastar la hipótesis a un nivel de confianza de 95%.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Diseño general de planta de tratamiento a escala

Se obtuvo el diseño de la planta de tratamiento a escala con procesos de aireación, coagulación, floculación y sedimentación para disminuir los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados basados en los cálculos para cada componente el cual incluye la primera y segunda etapa del proceso de investigación.

En la primera etapa del proceso se diseñó, construyó y adecuó un sistema de lodos activados, con la finalidad de saturar los sólidos presentes en el lixiviado y probar su eficiencia en la disminución de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), utilizando para esto un sedimentador primario (Tanque azul), un tanque aireador con 5 bombas, finalmente un sedimentador secundario que lo constituye el floculador biológico. En esta primera etapa el lixiviado crudo del botadero municipal de la provincia de Moyobamba es pretratado mediante la unidad de lodos activados, el cual permitió realizar la caracterización de la muestra con pretratamiento.

En la segunda etapa con el lixiviado pretratado se emplea la prueba o test de jarras y así determinar la dosis óptima para la eficiencia en la disminución de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) del lixiviado y probar la clarificación fisicoquímica con sulfato de aluminio y cloruro férrico.

Debido a la amplia gama de contaminantes, a los diferentes niveles de contaminación, así como a la cinética química de las sustancias, elementos, materia orgánica y microorganismos que se incorporan en el cuerpo de agua formando los lixiviados, se determinó las características físicas, químicas y biológicas del agua antes de ejecutar la alternativa de tratamiento.

Finalmente se buscó explicar en forma profunda y a la vez sencilla la complejidad del proceso utilizado en los sistemas de tratamiento de lixiviados, con el fin de que los profesionales de diversa formación que se encuentran laborando en este campo como ingenieros sanitarios, civiles, químicos y agrícolas, biólogos, geógrafos, arquitectos e incluso zootecnistas tengan una clara comprensión del tema y, de este modo, sirva de base para mejorar el modelo y aplicarlo en la solución a problemas concretos.

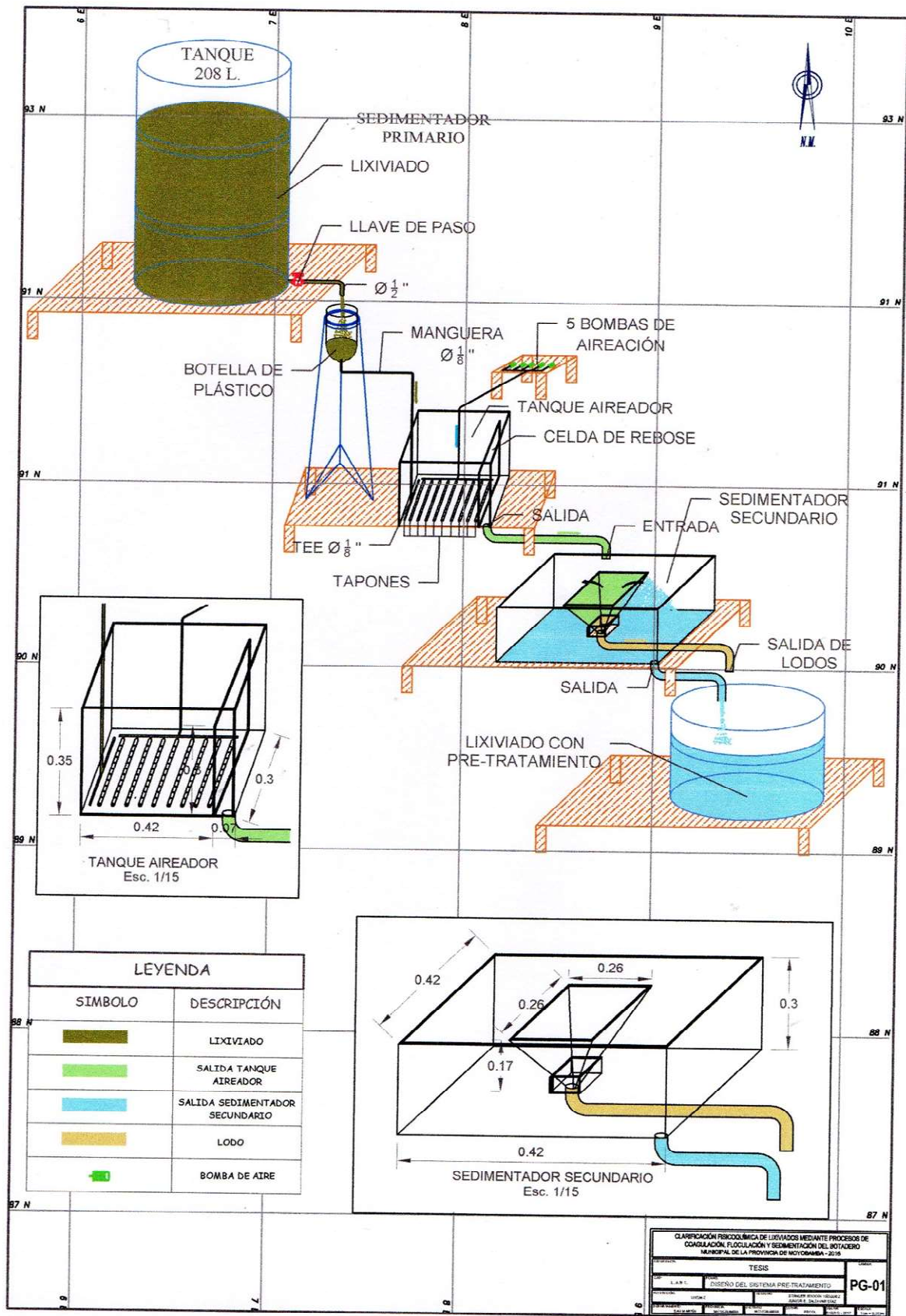


Figura 30. Diseño general experimental del tratamiento

4.2. Caracterización fisicoquímica del lixiviado crudo (Nativo)

Tabla 14

Caracterización fisicoquímica del lixiviado crudo por meses

| PARÁMETRO | UND | MESES – 2017 | | | | MÉTODO |
|---------------------|------------|--------------|-------|-------|-------|----------------------------------|
| | | FEBRERO | ABRIL | MAYO | JUNIO | |
| Turbidez | NTU | 432 | 390 | 310 | 420 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 14678 | 9120 | 3150 | 6520 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 30987 | 12030 | 8300 | 13256 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| Fósforo | mg/L | 0.88 | 0.75 | 0.96 | 1.23 | Colorimétrico |
| Sólidos totales | mg/L | 40553 | 32956 | 15982 | 24563 | Gravimétricos |
| Sólidos disueltos | mg/L | 35927 | 29547 | 15842 | 18327 | Gravimétricos |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 10945 | 8956 | 5453 | 8645 | Gravimétricos |
| Arsénico | mg As/L | 0.438 | 0.018 | 0.140 | 0.085 | Espectrofotométrico |
| Cadmio | mg Cd/L | 0.212 | 0.008 | 0.045 | 0.142 | Espectrofotométrico |
| Hierro | mg Fe/L | 0.023 | 0.034 | 0.024 | 0.033 | Espectrofotométrico |
| Plomo | mg Pb/L | 0.302 | 0.042 | 0.098 | 0.124 | Espectrofotométrico |
| Zinc | mg Zn/L | 1.086 | 0.584 | 0.754 | 0.713 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.30 | 4.14 | 5.00 | 4.53 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.5 | 23.6 | 24.2 | 23.6 | Termómetro manual |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 850 | 643 | 795 | 932 | Tubos múltiples |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 440 | 548 | 898 | 915 | Tubos múltiples |

Fuente: Informe de laboratorio (Anexo 03).

4.3. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO₅ en el mes de febrero – 2017

Tabla 15

Caracterización de la muestra I etapa - febrero – 2017

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 395 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 7850 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 15238 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| PH | --- | 4.00 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | Termómetro digital |

Fuente: Informe de laboratorio (Anexo 03).

Tabla 16

Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – febrero – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | To | <i>Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A</i> | | | | <i>Fe(Cl)₃</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|-----|---|-----------|------|-----------|---------------------------|-----------|------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 395 | 380 | 3.80 | 421 | -6.58 | 536 | -35.70 | 783 | -98.23 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 395 | 310 | 21.52 | 385 | 2.53 | 800 | -102.53 | 1139 | -188.35 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 395 | 351 | 11.14 | 410 | -3.80 | 550 | -39.24 | 962 | -143.54 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 395 | 220 | 44.30 | 380 | 3.80 | 580 | -46.84 | 750 | -89.87 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 395 | 405 | -2.53 | 512 | -29.62 | 605 | -53.16 | 941 | -138.23 |

To: Turbidez inicial, Tf: Turbidez final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min; Concentración comercial del coagulante (%) $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A: 50; $Fe(Cl)_3$: 40.

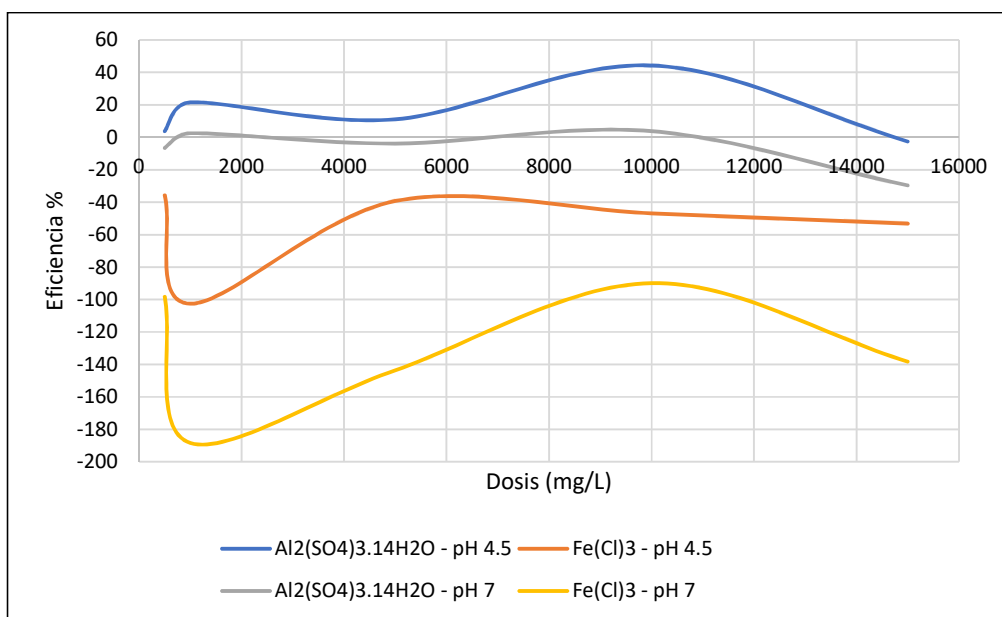


Figura 31. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – febrero – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado en la II etapa a pH ácido y neutro con $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A, muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Mientras que con $Fe(Cl)_3$ muestran eficiencias negativas por la inadecuada floculación reflejada en el enturbiamiento de la muestra. Comparando los tratamientos con $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A y $Fe(Cl)_3$, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la turbidez con el coagulante $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 44.31%.

Tabla 17

Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa – febrero – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | DBO ₀ | <i>Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A</i> | | | | <i>Fe(Cl)₃</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|------------------|---|-----------|------------------|-----------|---------------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | DBO _f | Efic. (%) | DBO _f | Efic. (%) | DBO _f | Efic. (%) | DBO _f | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 7850 | 578 | 92.64 | 7260 | 7.52 | 7412 | 5.58 | 7625 | 2.87 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 7850 | 473 | 93.97 | 6952 | 11.44 | 2336 | 70.24 | 4928 | 37.22 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 7850 | 660 | 91.59 | 7354 | 6.32 | 7110 | 9.43 | 7841 | 0.11 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 7850 | 241 | 96.93 | 5684 | 27.59 | 2125 | 72.93 | 3985 | 49.24 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 7850 | 310 | 96.05 | 5243 | 33.21 | 3928 | 49.96 | 4013 | 48.88 |

DBO₀: DBO₅ inicial; DBO_f: DBO₅ final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min. Concentración comercial del coagulante (%) Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A: 50; Fe(Cl)₃: 40.

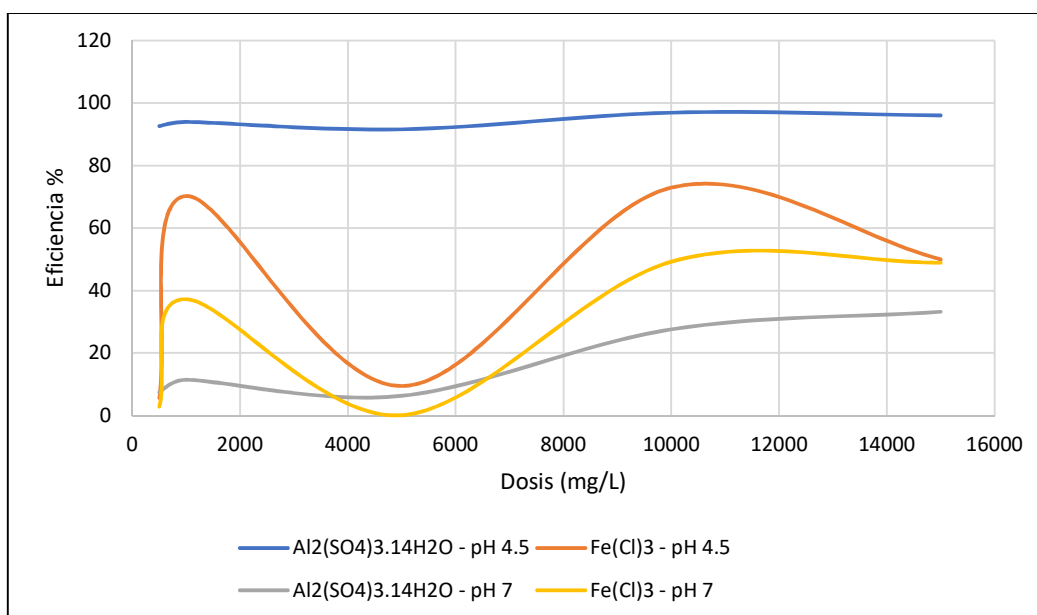


Figura 32. Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa – febrero – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido y neutro con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con Fe(Cl)₃ muestran eficiencias positivas bajas, las dosis aplicadas en forma ascendente muestran una variación aleatoria en la eficiencia para este reactivo. Comparando los tratamientos con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y Fe(Cl)₃, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la DBO₅ con el coagulante Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 96.93%.

4.4. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO₅ en el mes de abril - 2017

Tabla 18

Caracterización de la muestra I etapa - abril - 2017

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 320 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 3256 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 7562 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| PH | --- | 4.45 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | Termómetro digital |

Fuente: Informe de laboratorio (Anexo 03).

Tabla 19

Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – abril – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | To | <i>Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A</i> | | | | <i>Fe(Cl)₃</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|-----|---|-----------|------|-----------|---------------------------|-----------|------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 320 | 291 | 9.06 | 406 | -26.88 | 420 | -31.25 | 510 | -59.38 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 320 | 283 | 11.56 | 314 | 1.88 | 535 | -67.19 | 652 | -103.75 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 320 | 195 | 39.06 | 348 | -8.75 | 480 | -50.00 | 634 | -98.13 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 320 | 180 | 43.75 | 304 | 5.00 | 392 | -22.50 | 410 | -28.13 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 320 | 312 | 2.50 | 423 | -32.19 | 427 | -33.44 | 840 | -162.50 |

To: Turbidez inicial, Tf: Turbidez final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min; Concentración comercial del coagulante (%) Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A: 50; Fe(Cl)₃: 40.

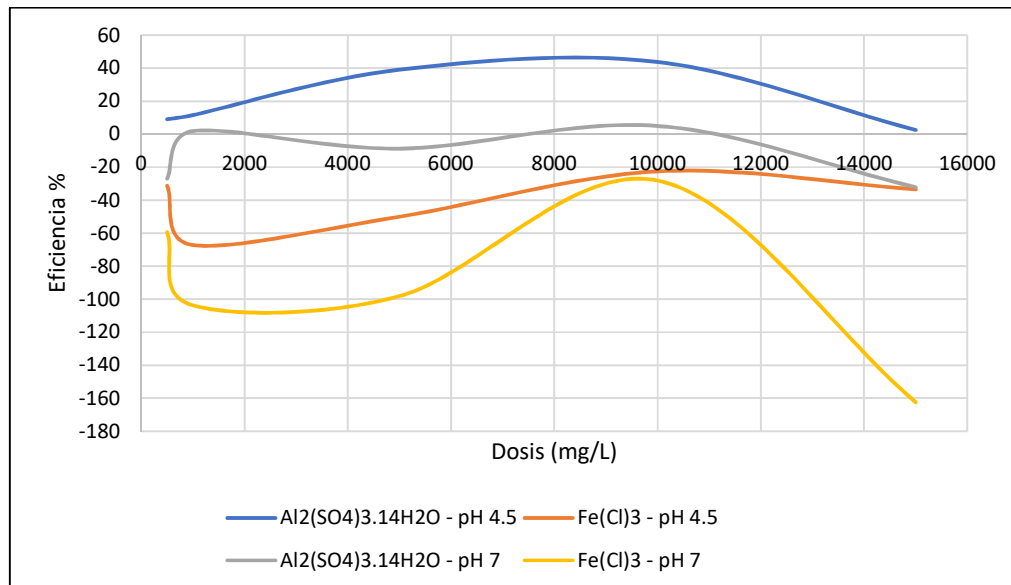


Figura 33. Eficiencias para disminución de turbiedad II etapa – abril – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas y a pH neutro variaciones positivas bajas y negativas, por lo que a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con $\text{Fe}(\text{Cl})_3$ muestran eficiencias negativas por la inadecuada floculación reflejada en el enturbiamiento de la muestra. Comparando los tratamientos con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A y $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la turbidez con el coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 43.75%.

Tabla 20

Eficiencias para disminución de DBO_5 II etapa – abril – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | DBO_0 | <i>$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A</i> | | | | <i>$\text{Fe}(\text{Cl})_3$</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|----------------|--|-----------|----------------|-----------|--|-----------|----------------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | DBO_f | Efic. (%) | DBO_f | Efic. (%) | DBO_f | Efic. (%) | DBO_f | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 3256 | 985 | 69.75 | 2110 | 35.20 | 2315 | 28.90 | 3014 | 7.43 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 3256 | 843 | 74.11 | 2180 | 33.05 | 2564 | 21.25 | 3140 | 3.56 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 3256 | 412 | 87.35 | 2045 | 37.19 | 2358 | 27.58 | 3560 | -9.34 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 3256 | 125 | 96.16 | 952 | 70.76 | 2069 | 36.46 | 3123 | 4.08 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 3256 | 124 | 96.19 | 983 | 69.81 | 1435 | 55.93 | 2410 | 25.98 |

DBO_0 : DBO_5 inicial; DBO_f : DBO_5 final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min. Concentración comercial del coagulante (%) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A: 50; $\text{Fe}(\text{Cl})_3$: 40.

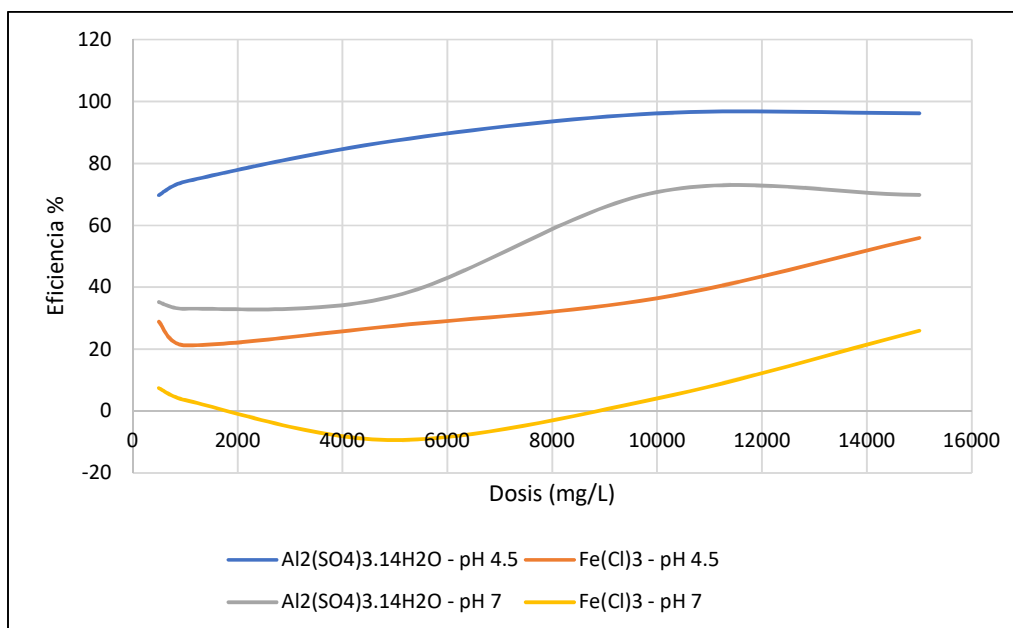


Figura 34. Eficiencias para disminución de DBO_5 II etapa – abril – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido y neutro con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con $\text{Fe}(\text{Cl})_3$ muestran eficiencias generalmente positivas bajas. Haciendo una comparación entre los tratamientos con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A y $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la DBO_5 con el coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 15000 mg/L con 96.19%.

4.5. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO_5 en el mes de mayo – 2107

Tabla 21

Caracterización de la muestra I etapa - mayo – 2017

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|----------------|--------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 289 | Espectrofotométrico |
| DBO_5 | mg/L | 2254 | Prueba de DBO_5 5 días |
| DQO | mg/L | 4658 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| PH | --- | 5.23 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.4 | Termómetro digital |

Fuente: Informe de laboratorio (Anexo 03).

Tabla 22

Eficiencias para disminución de turbiedad II etapa – mayo – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | T_0 | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A | | | | $\text{Fe}(\text{Cl})_3$ | | | |
|---------|-----------------|----------------|-------|--|--------------|------|--------------|--------------------------|--------------|------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 289 | 270 | 6.57 | 312 | -7.96 | 324 | -12.11 | 484 | -67.47 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 289 | 283 | 2.08 | 276 | 4.50 | 590 | -104.15 | 632 | -118.69 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 289 | 260 | 10.03 | 349 | -20.76 | 385 | -33.22 | 325 | -12.46 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 289 | 157 | 45.67 | 281 | 2.77 | 450 | -55.71 | 386 | -33.56 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 289 | 295 | -2.08 | 355 | -22.84 | 416 | -43.94 | 694 | -140.14 |

T_0 : Turbidez inicial; Tf: Turbidez final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Flocculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min; Concentración comercial del coagulante (%) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A: 50; $\text{Fe}(\text{Cl})_3$: 40.

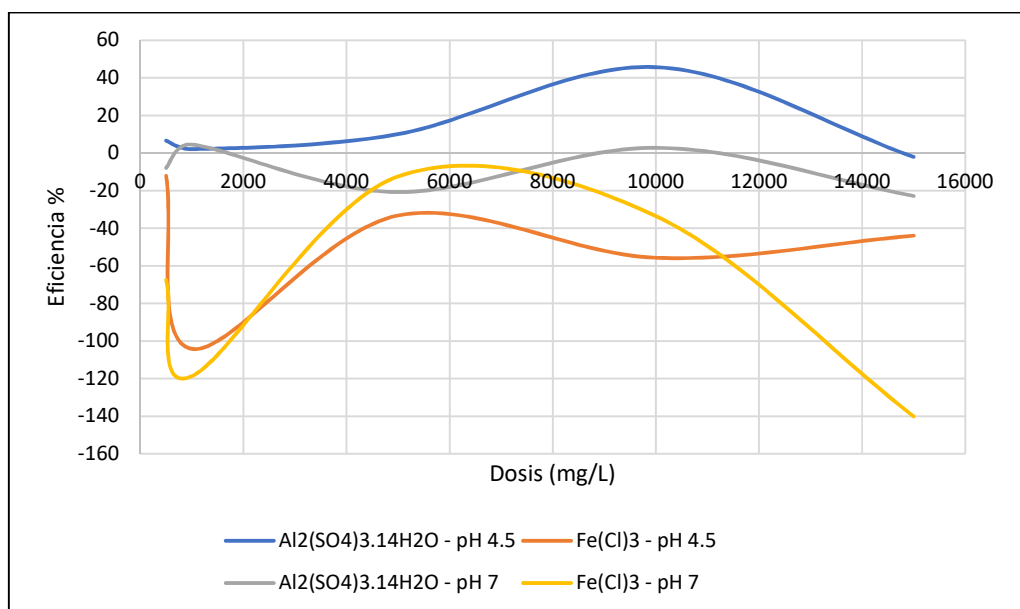


Figura 35. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – mayo – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido y neutro con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con $\text{Fe}(\text{Cl})_3$ muestran eficiencias negativas por la inadecuada floculación reflejada en el enturbiamiento de la muestra. Comparando los tratamientos con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A y $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la turbidez con el coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 45.67%.

Tabla 23

Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa – mayo – 2107

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | DBO ₀ | <i>Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A</i> | | | | <i>Fe(Cl)₃</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|------------------|---|-----------|------------------|-----------|---------------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | DBO _r | Efic. (%) | DBO _r | Efic. (%) | DBO _r | Efic. (%) | DBO _r | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 2254 | 412 | 81.72 | 1244 | 44.81 | 2080 | 7.72 | 2246 | 0.35 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 2254 | 328 | 85.45 | 1165 | 48.31 | 1859 | 17.52 | 2305 | -2.26 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 2254 | 185 | 91.79 | 1200 | 46.76 | 2014 | 10.65 | 2154 | 4.44 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 2254 | 98 | 95.65 | 1052 | 53.33 | 1547 | 31.37 | 2184 | 3.11 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 2254 | 256 | 88.64 | 1132 | 49.78 | 1824 | 19.08 | 3215 | -42.64 |

DBO₀: DBO₅ inicial; DBO_r: DBO₅ final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min. Concentración comercial del coagulante (%) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A: 50; $\text{Fe}(\text{Cl})_3$: 40.

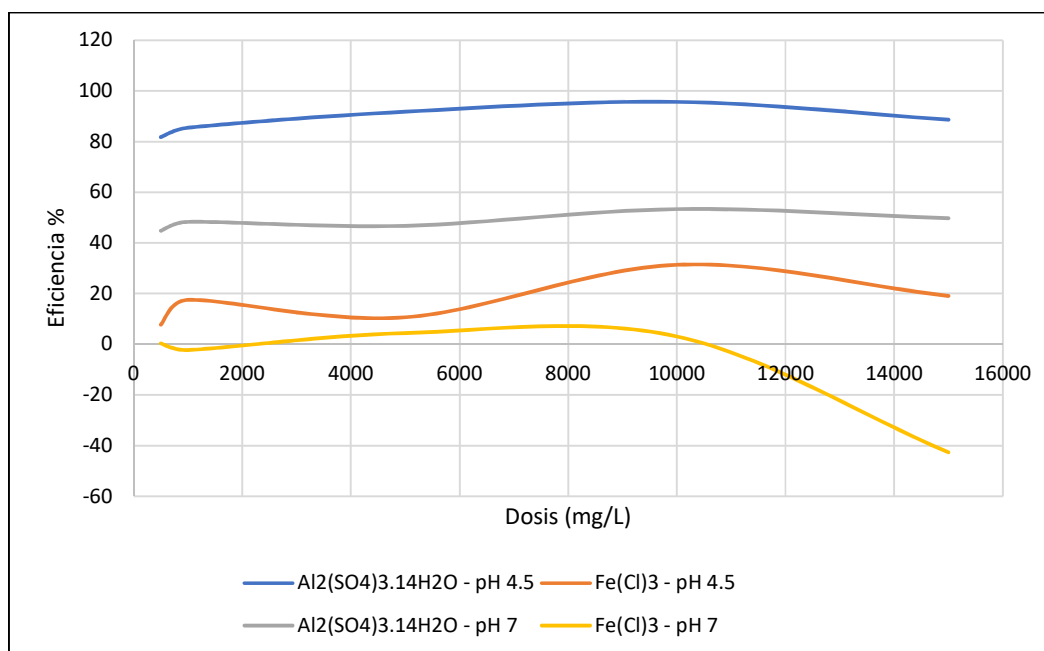


Figura 36. Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa – mayo – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido y neutro con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con FeCl₃ muestran eficiencias generalmente positivas bajas. Haciendo una comparación entre los tratamientos con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y FeCl₃, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la DBO₅ con el coagulante Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 95.65%.

4.6. Eficiencia en la disminución de turbiedad y DBO₅ en el mes de junio – 2017

Tabla 24

Caracterización de la muestra I etapa - junio – 2017

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 320 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 1338 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 3157 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| PH | --- | 4.86 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | Termómetro digital |

Fuente: Informe de laboratorio (Anexo 03).

Tabla 25

Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – junio – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | To | <i>Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A</i> | | | | <i>Fe(Cl)₃</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|-----|---|-----------|------|-----------|---------------------------|-----------|------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) | Tf | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 320 | 304 | 5.00 | 384 | -20.00 | 384 | -20.00 | 594 | -85.63 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 320 | 275 | 14.06 | 318 | 0.63 | 610 | -90.63 | 652 | -103.75 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 320 | 214 | 33.13 | 410 | -28.13 | 364 | -13.75 | 398 | -24.38 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 320 | 154 | 51.88 | 312 | 2.50 | 352 | -10.00 | 387 | -20.94 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 320 | 311 | 2.81 | 390 | -21.88 | 543 | -69.69 | 756 | -136.25 |

To: Turbidez inicial, Tf: Turbidez final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min; Concentración comercial del coagulante (%) $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A: 50; $Fe(Cl)_3$: 40.

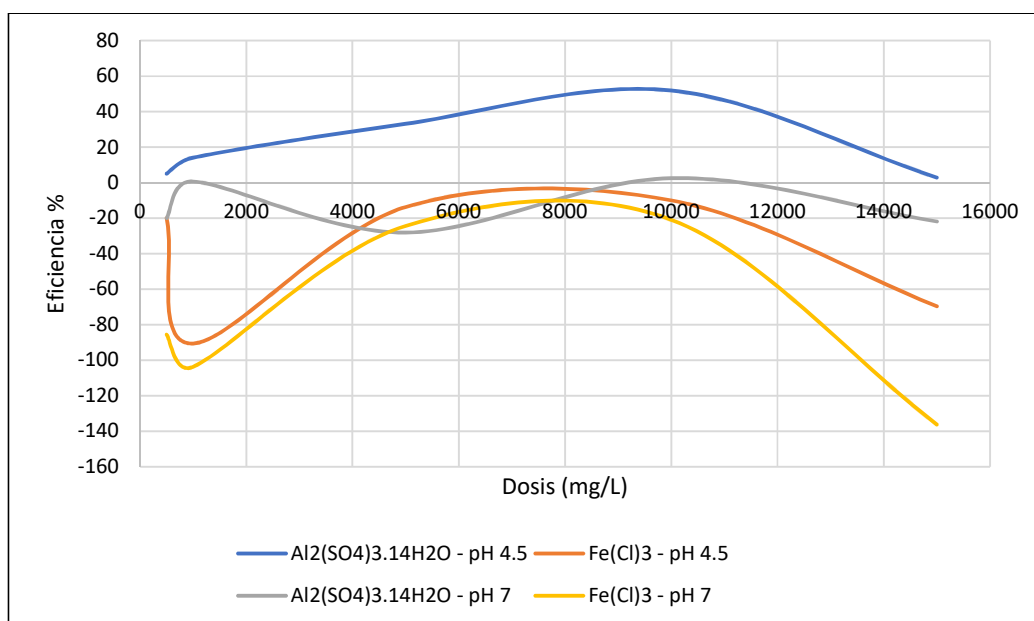


Figura 37. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa – junio – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido y neutro con $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas y negativas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con $Fe(Cl)_3$ muestran eficiencias negativas por la inadecuada floculación reflejada en el enturbiamiento de la muestra. Comparando los tratamientos con $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A y $Fe(Cl)_3$, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la turbidez con el coagulante $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 51.88%.

Tabla 26

Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa – junio – 2017

| Prueba | Dosis (mg/L) | Sedim (min) | DBO ₀ | <i>Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A</i> | | | | <i>Fe(Cl)₃</i> | | | |
|---------|--------------|-------------|------------------|---|-----------|------------------|-----------|---------------------------|-----------|------------------|-----------|
| | | | | pH=4.5 | | pH=7 | | pH=4.5 | | pH=7 | |
| | | | | DBO _r | Efic. (%) | DBO _r | Efic. (%) | DBO _r | Efic. (%) | DBO _r | Efic. (%) |
| Jarra 1 | 500 | 15 | 1338 | 258 | 80.72 | 1123 | 16.07 | 1275 | 4.71 | 1320 | 1.35 |
| Jarra 2 | 1000 | 15 | 1338 | 422 | 68.46 | 842 | 37.07 | 1356 | -1.35 | 1309 | 2.17 |
| Jarra 3 | 5000 | 15 | 1338 | 314 | 76.53 | 540 | 59.64 | 1294 | 3.29 | 1412 | -5.53 |
| Jarra 4 | 10000 | 15 | 1338 | 110 | 91.78 | 324 | 75.78 | 1408 | -5.23 | 1350 | -0.90 |
| Jarra 5 | 15000 | 15 | 1338 | 250 | 81.32 | 983 | 26.53 | 1246 | 6.88 | 1330 | 0.60 |

DBO₀: DBO₅ inicial; DBO_r: DBO₅ final; Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s; Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min. Concentración comercial del coagulante (%) Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A: 50; Fe(Cl)₃: 40.

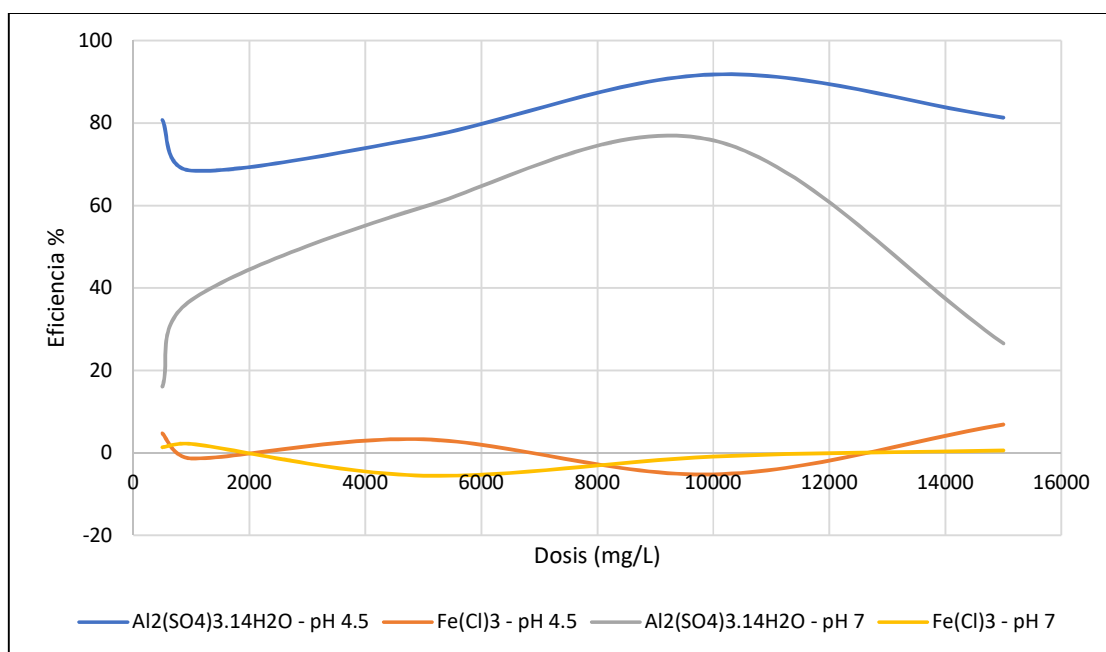


Figura 38. Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa – junio – 2017.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado a pH ácido y neutro con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A muestran eficiencias aleatorias positivas, sin embargo, a pH ácido se observa una mejor eficiencia en todas las pruebas. Las eficiencias a pH ácido y neutro con Fe(Cl)₃ muestran eficiencias generalmente positivas bajas. Haciendo una comparación entre los tratamientos con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y Fe(Cl)₃, se observa que existe una mayor eficiencia en la remoción de la DBO₅ con el coagulante Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A, a un pH ácido y a una dosis de 10000 mg/L con 91.78%.

4.7. Eficiencias en la disminución de turbiedad y DBO₅ – II etapa

Tabla 27

Eficiencias para turbiedad – II etapa

| Prueba | Dosis (mg/L) | Conc. (%) | Sedim. (min) | T ₀ | PRIMERA ETAPA | | SEGUNDA ETAPA | |
|----------------|-----------------|--------------|-----------------|----------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| | | | | | Ti | Eficiencia (%) | Tf | Eficiencia (%) |
| FEBRERO – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 432 | 395 | 8.56 | 220 | 44.30 |
| ABRIL – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 390 | 320 | 17.95 | 180 | 43.75 |
| MAYO – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 310 | 289 | 6.77 | 157 | 45.67 |
| JUNIO – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 420 | 320 | 23.81 | 154 | 51.88 |

T₀: Turbiedad lixiviado crudo; Ti: Turbiedad lixiviado pretratado; Tf: Turbiedad lixiviado tratado. Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s. Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min; Concentración comercial del coagulante (%) Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A: 50.

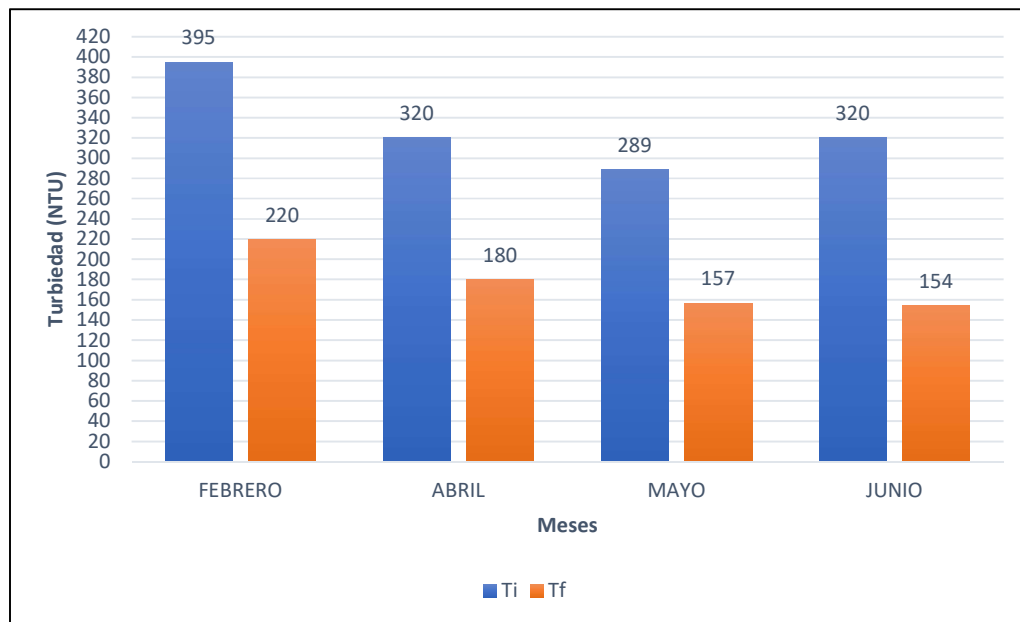


Figura 39. Eficiencias para disminución de turbidez II etapa.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado para disminución de turbidez en todos los meses se lograron a pH ácido con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y a una dosis de 10000 mg/L con 44.30% en febrero que representa una disminución de 395 a 220 UNT, en el mes de abril de 320 a 180 UNT que significa una eficiencia de 43.75%, así como en mayo de 289 a 157 UNT que equivale a 45.67% de eficiencia y 51.88% en junio con una disminución de 320 a 154 UNT respectivamente, lográndose de esa manera disminuir significativamente los parámetros fisicoquímicos en términos de turbiedad en los lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba.

Tabla 28

Eficiencias para DBO₅ – II etapa

| Prueba | Dosis (mg/L) | Conc. (%) | Sedim. (min) | DBO ₅ 0 | PRIMERA ETAPA | | SEGUNDA ETAPA | |
|----------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | | | | | DBO ₅ i | Eficiencia (%) | DBO ₅ f | Eficiencia (%) |
| FEBRERO – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 14678 | 7850 | 46.52 | 241 | 96.93 |
| ABRIL – 2017 | 15000 | 50 | 15 | 9120 | 3256 | 64.30 | 124 | 96.19 |
| MAYO – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 3150 | 2254 | 28.44 | 98 | 95.65 |
| JUNIO – 2017 | 10000 | 50 | 15 | 6520 | 1338 | 79.48 | 110 | 91.78 |

DBO₅0: DBO₅ lixiviado crudo; DBO₅i: DBO₅ lixiviado pretratado; DBO₅f: DBO₅ lixiviado tratado. Mezcla: Velocidad: 299 rpm, Tiempo: 10 s. Floculación: Velocidad: 40 rpm Tiempo: 20 min; Concentración comercial del coagulante (%) Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A: 50.

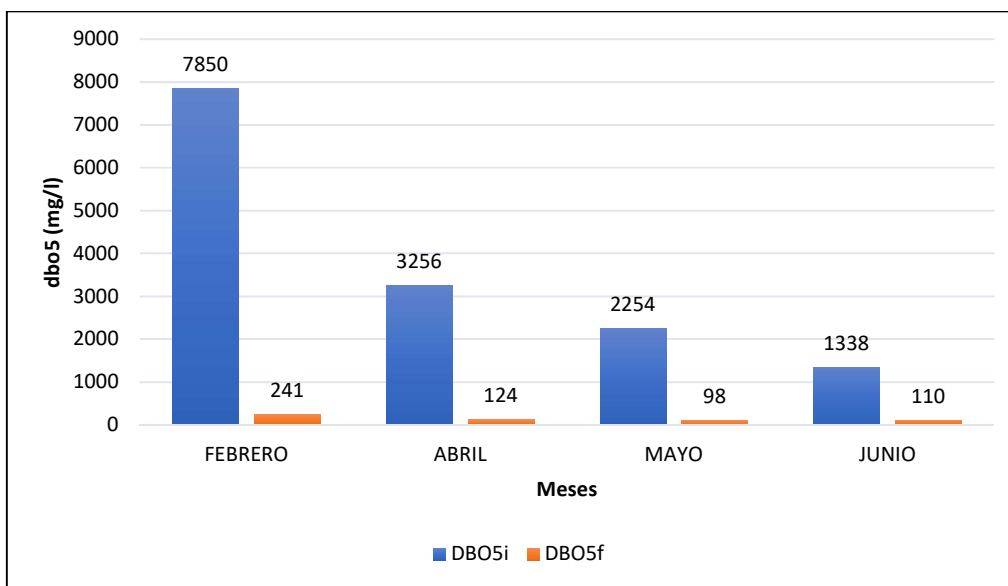


Figura 40. Eficiencias para disminución de DBO₅ II etapa.

Nota: Las eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado para disminución de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en todos los meses se lograron a pH ácido con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y a una dosis de 10000 mg/L para febrero, mayo y junio y de 15000 mg/L para el mes de abril, con 96.93% en febrero que representa una disminución de 7850 a 241mg/L, en el mes de abril de 3256 a 124 mg/L que significa una eficiencia de 96.19%, así como en mayo de 2254 a 98 mg/L que equivale a 95.65% de eficiencia y 91.78% en junio con una disminución de 1338 a 110 mg/L respectivamente, lográndose de esa manera disminuir significativamente los parámetros fisicoquímicos en términos de demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ en los lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba.

4.8. Comprobación de la hipótesis.

La prueba estadística que se desarrolló para validar los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, correspondientes a la turbiedad y DBO₅ se realizó por medio de la prueba estadística de distribución t- Student pareada entre la preprueba y postprueba, con $\alpha = 5\%$.

A. Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H_0): $H_0: \mu \bar{d} = 0$

H_0 : “La aplicación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación no disminuye significativamente los parámetros de lixiviados (materia orgánica en términos de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno: DBO₅) del botadero municipal de la provincia de Moyobamba”

Hipótesis alterna (H_1): $H_1: \mu \bar{d} > 0$

H_1 : “La aplicación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación disminuye significativamente los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados (materia orgánica en términos de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno: DBO₅) del botadero municipal de la provincia de Moyobamba”

B. Obtención de la “t” calculada (t_c):

Para un nivel de significación de $\alpha = 5\% = 0,05$ y un nivel de confianza: $1 - \alpha = 95\% = 0,95$:

✓ *Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de turbiedad.*

IC y Prueba T pareada: T_o ; T_f

T pareada para $T_o - T_f$

| | | | | Error estándar de la media |
|------------|---|-------|-----------|-------------------------------------|
| | N | Media | Desv.Est. | |
| T_o | 4 | 331.0 | 45.1 | 22.5 |
| T_f | 4 | 177.8 | 30.5 | 15.2 |
| Diferencia | 4 | 153.3 | 20.5 | 10.3 |

Límite inferior 95% para la diferencia media: 129.1

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. > 0): Valor T = 14.94 Valor p = 0.000

Fuente: Cálculos con Minitab

✓ *Análisis estadístico de la eficiencia de la disminución de DBO₅.*

IC y Prueba T pareada: DBO5 inicial; DBO5 final

T pareada para DBO5 inicial - DBO5 final

| | | | | Error estándar de la media |
|--------------|---|-------|-----------|-------------------------------------|
| | N | Media | Desv.Est. | |
| DBO5 inicial | 4 | 3675 | 2892 | 1446 |
| DBO5 final | 4 | 143 | 66 | 33 |
| Diferencia | 4 | 3531 | 2827 | 1414 |

Límite inferior 95% para la diferencia media: 204

Prueba t de diferencia media = 0 (vs. > 0): Valor T = 2.50 Valor p = 0.044

Fuente: Cálculos con Minitab

C. Regla de decisión:

- ✓ Si el Valor p (Sig) ≥ 0.05 se acepta la hipótesis nula (H₀).
- ✓ Si el valor p (Sig) < 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna (H₁)

D. Decisión

Como el p valor (Sig) de la turbidez es de 0.000 y de la DBO₅ es 0.044 y en ambos casos son menores que 0.05 valor de nivel de significancia previamente establecido, por lo tanto, rechazamos H₀ y aceptamos H₁.

Además, en términos porcentuales tenemos:

- **Una remoción de la turbiedad**

En efecto los ensayos finales alcanzaron una eficiencia en la reducción de turbiedad y de forma indirecta de los sólidos en suspensión en las cuatro pruebas de 44.30%, 43.75%, 45.67% y 51.88%, con una clarificación muy buena, casi transparente.

- **Una reducción de la materia orgánica en términos de DBO₅.**

En efecto se redujo la materia orgánica en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) con eficiencias de 96.93%, 96.19%, 95.65% y 91.78% los que indica una clarificación considerable del lixiviado mediante los procesos de aireación, coagulación, floculación y sedimentación.

E. Conclusión:

Se rechaza la H_0 con un nivel de significancia de 5%; por lo tanto, se acepta H_1 , en consecuencia, se puede decir, que hay suficiente base estadística para afirmar que, si existe una diferencia estadísticamente significativa de la concentración de la materia orgánica expresada como turbidez y DBO_5 y en los lixiviados antes y después del tratamiento.

Por lo tanto, este resultado nos permite declarar parcialmente verdadera nuestra hipótesis de investigación: *“La aplicación de los procesos de coagulación, floculación y sedimentación disminuye significativamente los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados (materia orgánica en términos de turbiedad y demanda bioquímica de oxígeno: DBO_5) del botadero municipal de la provincia de Moyobamba”*

4.9. Discusión de resultados

Todos los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas en los que se empleó el lixiviado de botadero municipal apuntan a la necesidad de remover, previamente, la materia orgánica biodegradable en términos de turbidez y demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) mediante los procesos de aireación, coagulación, floculación y sedimentación basándonos en lo que afirma Peñaloza, s.f. que la clarificación de los lixiviados mediante precipitación química es una de las posibilidades para acondicionar al lixiviado a un tratamiento posterior menos complejo y por ende menos costoso.

Coincidimos con Gálvez (2008) en que la carga orgánica del lixiviado influye significativamente en el proceso de coagulación – floculación, por lo que en casos de lixiviados muy concentrados sería recomendable realizar nuevos ensayos para optimización de las dosis y del coagulante, a pesar que el proceso de coagulación floculación aplicado al tratamiento del lixiviado permite eliminar parte de la DQO y de los sólidos totales presentes en el lixiviado, aunque es incapaz de producir por sí solo un efluente con calidad aceptable, lo que hace necesaria su combinación con otro u otros sistemas de tratamiento, dado que en nuestra investigación tampoco se utilizó.

Los coagulantes utilizados fueron sulfato de aluminio tipo A y cloruro férrico, con los cuales se obtuvieron resultados similares a los de Méndez et al. (2004) quienes describen un procedimiento para determinar la dosis y tipo de coagulante óptimos para el tratamiento fisicoquímico de lixiviados de un relleno sanitario, realizando ensayos de prueba de jarras a los lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Mérida, en los que se probaron 4 coagulantes metálicos (cloruro férrico, sulfato férrico, policloruro de aluminio y sulfato de aluminio) con dosis de 50 a 300 mg/L y 2 poli electrólitos (aniónico y catiónicos de alta densidad) con dosis de 2 a 12mg/L. Sin embargo, no se encontraron resultados positivos y la mejor remoción de contaminantes medidas en función a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) se obtuvo con sulfato de aluminio a una dosis de 300 mg/L con una eficiencia mínima de remoción de 6.6%, debido a que los lixiviados se encuentran en forma soluble o coloidal de pequeño tamaño ($< 50 \mu m$) y propicia que las eficiencias de los procesos de clarificación sean bajas.

En la presente investigación se logró disminuir los parámetros fisicoquímicos para cumplir con los LMP establecidas en las normas, por su parte Valles (2013) corrobora según la experimentación realizada en su trabajo mediante coagulación – floculación – sedimentación, adsorción, dilución – reactor biológico y oxidación química, resultado adecuado para remover

DQO, DBO₅ y algunos metales del lixiviado establecidos por la NOM-001-SEMARNAT – 1996 como contaminantes. Llevándolos a concentraciones por debajo de los límites máximos permisibles para ser descargados en un sistema de alcantarillado.

Los procesos de coagulación – floculación y sedimentación según Méndez et al. (2004) tienen como objetivo eliminar las partículas suspendidas de la fase líquida; a valores bajos de pH se remueven las partículas de tamaño pequeño que le confieren color al lixiviado. En nuestra investigación encontramos los valores de pH que oscilan entre valores bajos de pH entre 4.0 y 6.0 el cual concuerda con Tchobanoglous et al. (1994) quien establece que un relleno sanitario nuevo oscila entre 4.5-5.7; al igual que Renou et al. (2008) establece valores de pH para lixiviados jóvenes <6.5, dado que el botadero municipal tiene una edad promedio joven. El pH óptimo para la coagulación obtenida con sulfato de aluminio fue de 4.5, tal como afirma Romero (2009) un rango de 4 – 7, la que en todos los casos se obtuvieron mejores eficiencias por la aglutinación de coloides de pequeño tamaño o la precipitación de sólidos disueltos.

Las pruebas realizadas en el proceso de clarificación fisicoquímica es una tecnología apropiada para este tipo de lixiviado, porque de acuerdo a los resultados con una muestra de 208 L, se obtuvo una notable disminución de la carga orgánica evaluada, la eficiencias de las pruebas con lixiviado pretratado para disminución de turbidez se lograron a pH ácido de 4.5 con el coagulante Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y a una dosis de 10000 mg/L, 44.30% en febrero que representa una disminución de 395 a 220 UNT, en el mes de abril de 320 a 180 UNT que significa un 43.75%, en mayo de 289 a 157 UNT que equivale a 45.67% y 51.88% en junio con una disminución de 320 a 154 UNT respectivamente, las eficiencias para disminución de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) también se lograron a pH ácido con Al₂(SO₄)₃.14H₂O tipo A y a una dosis de 10000 mg/L para febrero, mayo y junio y de 15000 mg/L para el mes de abril, con 96.93% en febrero que representa una disminución de 7850 a 241mg/L, en abril de 3256 a 124 mg/L que significa una eficiencia de 96.19%, en mayo de 2254 a 98 mg/L que equivale a 95.65% de eficiencia y 91.78% en junio con una disminución de 1338 a 110 mg/L respectivamente, lográndose de esa manera disminuir significativamente los parámetros fisicoquímicos en los lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba, lo que podría mejorar adicionando un sistema adecuado de filtración, o podría buscarse una alternativa distinta con un polímero no evaluado en esta tesis, similares resultados con DQO y otro coagulante encontró Vilar (2015) quien concluye que, en los ensayos realizados con lixiviado bruto, se obtuvieron porcentajes de eliminación de en torno a un 43% de DQO para dosis de cloruro de hierro (III) entre 1400 y 2000 mg/L, sin ajuste previo de pH. En el estudio del efecto

de la dosis a pH 4, se obtuvieron resultados similares a los obtenidos al pH del lixiviado empleando dosis menores de coagulante, con porcentajes de eliminación de DQO en torno a un 44% a partir de dosis de 1200 mg Fe³⁺/L, frente al 43% de DQO eliminada con dosis de 1400 mg Fe³⁺/L al pH del lixiviado bruto. En los ensayos realizados con lixiviado diluido pretratado anaeróbicamente sin ajuste previo de pH, se obtuvieron porcentajes de eliminación de entre 50 y 58%, empleando dosis entre 1400 y 2000 mg Fe³⁺/L. Se obtuvieron mejores resultados con cloruro de hierro (III) que, con sulfato de aluminio, para todas las condiciones ensayadas.

Así mismo, Anchiraico & Vilcahuaman (2010) aplicaron también los procesos de coagulación – floculación y sedimentación y obtuvieron resultados finales de los parámetros óptimos con una alta eficiencia en remoción de turbidez del 94%. Los ensayos finales alcanzaron un nivel máximo de eficiencia de clarificación del 68.70%.

La remoción de carga orgánica es positiva, los porcentajes de eficiencia de remoción alcanzaron 47.50% y 55.43% en DBO₅ y DQO respectivamente. La biodegradabilidad no sufre variaciones considerables.

En general en la presente investigación se encontró que la DBO₅ en el tanque azul era variable, según los puntos de muestreo de lixiviado del botadero municipal, encontrándose rangos de 7000 a 30000 mg/L; un valor muy elevado comparado inclusive con un desagüe industrial, sin embargo, después de la II etapa se registra una eficiencia en remoción de 96.93% obteniendo una concentración de 241mg/L; 96.19% (124 mg/L); 95.65% (98 mg/L) y 91.78% (110 mg/L) las cuales son contrastadas con las normas compatibles a los resultados toda vez que no se cuenta específicamente para efluentes de lixiviados tratados, comparando así con los valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA) cuyo rango es de 500 mg/L y con los límites de descarga al sistema de alcantarillado público (LMP) rango de 250 mg/L (Resolución N° 0631- 2015 – MINAMBIENTE, Colombia) se obtuvieron concentraciones inferiores, por lo que queda validada y demostrada la efectividad del estímulo en nuestra investigación.

CONCLUSIONES

- La clarificación fisicoquímica de lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba mediante procesos de coagulación – floculación y sedimentación es eficiente al lograr una considerable disminución de los parámetros fisicoquímicos con eficiencias para turbidez de a pH ácido de 4.5 con el coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A y a una dosis de 10000 mg/L, 44.30% (395 a 220 UNT), 43.75%, (320 a 180 UNT), 45.67% (289 a 157 UNT) y 51.88% (320 a 154 UNT); para Demanda Bioquímica de Oxígeno eficiencias en remoción de 96.93% (7850 a 241mg/L), 96.19% (3256 a 124 mg/L), 95.65% (2254 a 98 mg/L) y 91.78% (1338 a 110 mg/L).
- El diseño de la planta de tratamiento a escala con la primera etapa (pre tratamiento) donde se empleó sólo la unidad de lodos activados con procesos de aireación y sedimentación y la segunda etapa (tratamiento) en la que se empleó la prueba o test de jarras para la clarificación fisicoquímica mediante coagulación, floculación y sedimentación resultó eficiente, dado que permitió disminuir los parámetros fisicoquímicos de los lixiviados.
- Los ensayos a escala de laboratorio realizados permitieron determinar la dosis óptima para alcanzar niveles altos de clarificación fisicoquímica obteniendo así el coagulante de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ tipo A con una concentración de 10000 mg/L y 15000 mg/L y a un pH óptimo de 4.5 considerando que se trata de un lixiviado joven, el cual en todos los casos se obtuvieron mejores eficiencias por la aglutinación de coloides de pequeño tamaño o la precipitación de sólidos disueltos, resultados que no prosperaron con el cloruro férrico $\text{Fe}(\text{Cl})_3$.
- La aplicación de los procesos de coagulación – floculación y sedimentación es eficiente en la clarificación fisicoquímica de los lixiviados del botadero municipal de la provincia de Moyobamba, dado que, al realizarse la comparación con los valores máximos admisibles y límites máximos permisibles establecidos, en todos los casos se obtuvieron concentraciones inferiores a 250mg/L, por lo que queda validada y demostrada la efectividad del estímulo en nuestra investigación.

- Los valores de pH obtenidos para el lixiviado crudo durante los meses de estudio son de 4.30, 4.14, 5.00 y 4.53, lo que indica según Tchobanoglous, G., Theisen H. & Vigil, S. A. (1994), que los lixiviados se encuentran en la denominada etapa ácida de la descomposición, caracterizada por la presencia de ácidos orgánicos, que disminuyen el pH a valores menores de 6,5.
- El valor aproximado de volumen de lixiviados se estimó en 150,7 m³/día, este valor referencial, que es bajo comparado a rellenos sanitarios de naturaleza similar en países como Colombia y España, puede variar según las estaciones del año y dependerá de las precipitaciones, del clima, la hidrología y el suelo.
- Si analizamos la relación entre los valores de DBO₅ y DQO, obtenemos valores de 0.47, 0.76, 0.38, y 0.49, respectivamente para los meses de estudio, lo que nos indica que existe gran cantidad de ácidos volátiles, el valor de 0.76 además nos indica la alta biodegradabilidad e inestabilidad de los compuestos orgánicos presentes, esto debido a que aún se encuentran lejos al valor de 0.1, según Tchobanoglous, G., Theisen H. & Vigil, S. A. (1994).
- Los proceso de clarificación fisicoquímica mediante coagulación, floculación y sedimentación ya han sido utilizados en rellenos sanitarios, mas no en botaderos, por lo que la presente es la primera que desarrolla una investigación de este tipo en la Región San Martín, provincia de Moyobamba donde las variaciones de precipitación, clima, escorrentía y evapotranspiración son propias de la selva alta, y podría pronosticarse un efecto similar en el tratamiento de lixiviados en zonas cercanas a la región.
- El cloruro férrico no tuvo mayores resultados en su aplicación, probablemente esto se deba a que no existe saturación de sales en el agua de los lixiviados, este compuesto generalmente es efectivo en procesos donde la saturación salina es muy elevada, tal como el agua de mar, o aguas duras de la costa peruana.

RECOMENDACIONES

A la municipalidad provincial de Moyobamba, la importancia de la construcción de un relleno sanitario con tratamiento de lixiviados, ya que mediante la presente investigación se ha demostrado la eficiencia de este sistema en la remoción de la carga orgánica presente en términos de turbidez y DBO₅, obteniendo resultados favorables, contribuyendo de esta manera a la conservación del medio ambiente.

A Los estudiantes en general realizar estudios para el tratamiento microbiológico de los lixiviados después del tratamiento secundario, con la finalidad de recomendar su uso en otros campos como la agricultura, y su adecuado aprovechamiento como fuente de agua para riego o en otros usos en caso de ser necesaria.

Al público lector si realiza una investigación similar tener precaución con la formación de espuma ya que la reacción que crea es brusca y rebalsa las jarras poniendo en riesgo el perjuicio al equipo y a la salud de la persona, y así mantener las condiciones óptimas de los equipos para pruebas posteriores. Usar obligatoriamente equipos de protección personal dado que el lixiviado es considerado un líquido muy peligroso por lo cual se debe proteger adecuadamente y no mantenerse por mucho tiempo expuesto a los olores del lixiviado ya que son muy fuertes, tóxicos y fétidos, tener mucho cuidado con el uso de los reactivos ya que al contacto con el lixiviado crudo forman gases irritantes tanto a los ojos, la piel, como a las mucosas. Realizar el muestreo en épocas que no sean lluviosas porque alteran la composición del lixiviado por lo que se recomienda realizar varios ensayos con las consideraciones ya dadas para obtener resultados más exactos.

A la UNSM – T, implementar el laboratorio de ciencias para obtener resultados más óptimos y eficientes que garanticen una investigación más precisa mediante una estación de prueba de test de jarras in situ para obtener resultados de una muestra constante y poco variable ya que mantiene sus condiciones iniciales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abria, L. (2002). *Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales de la industria láctea*. Ingeniería Química.
- Anchiraico, Y.A & Vilcahuaman, M. (2010). *Evaluación del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancón, mediante procesos de coagulación – floculación y sedimentación* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Anónimo. (5 de mayo de 2010). Gestión Integral de Residuos Sólidos. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://gestionintegralresiduos.blogspot.pe/>
- Armas, C. E. & Romero, C.E. (2011). *Tecnología Ambiental*. Trujillo: Concytec.
- Alexéiew, V. (1975). *Análisis Cualitativa. Rusia*: MIR MOSCU.
- Armas, C. E., Armas, C. E., & Díaz, J. (1996). *Ciencia química conceptos fundamentales*. Trujillo: libertad EIRL.
- Arocha, S. (1997). *Abastecimientos de Agua*: Venezuela: Vega S.R.L.
- Barrenechea, A. (2002). *Aspectos Fisicoquímicos del Agua*: OPS/CEPIS/PUB/02.76 Original. Lima.
- Bauer, M.J., Herrmann, R., Martin, A., Zellmann, H., (1998). *Chemodynamics, transport behaviour and treatment of phthalic acid esters in municipal landfill leachate*. Water Science and Technology.
- Benefield, L. D. & Randall, C. W. (1980). *Biological process design for wastewater treatment*, Libraries Australia, ISBN 013076406X
- Bueno, J.L.; Sastre, H. and Lavin, A.J. (1997). *Contaminación e ingeniería Ambiental. Degradación del suelo y Tratamiento de Residuos*. Ed Ficyt. Oviedo.
- Cano, M. L. (2012). *Evaluación de plantas de tratamiento*. Paraguay.
- Castrillón, L., et al. (2008). *Tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos (ru)*. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias. Universidad de Oviedo, Gijón. España. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos.

- CEPIS. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales*. Colombia.
- Deng, Y., (2007). *Journal of Hazardous Materials*. Primo, O., Rivero, M.J., Ortiz I. (2008). *Journa of Hazardous Materials*.
- De La Cruz, L.; Orellana, V. (2011). *Caracterización del desagüe industrial de la pasta de pota para la remoción de la carga orgánica utilizando un sistema combinado de UASB y lodos activados* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Douglas, A. (2011). *Fundamentos de química analítica*. Mexico: Thomson.
- Gálvez, A. (2008). *Aplicabilidad de procesos de coagulación floculación y de sistema de biopelícula en el tratamiento de lixiviados de vertederos de residuos urbanos* (Tesis doctoral). Universidad de Granada, Granada, España.
- Giraldo, E., (2001). *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances Recientes*. Revista de Ingeniería 14. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería.
- Haney, J. F., 1987. *Field studies on zooplankton-cyanobacteria interactions*. N. Z. J. Mar. & Freshwat. Res. 21: 467-475.
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. d. (2013). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.
- Ihs, N. I. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental y plan de manejo ambiental proyecto relleno sanitario del Cantón Lago Agrio*.
- Isla, J. (2005). *Proyectos de plantas de tratamientos de aguas: Aguas de proceso, residuales y de refrigeración*. España: Bellisco Ediciones.
- Janos, P., Herzogová, I., Rejnek, J., Hodslavská J., (2004). *Assessment of heavy metals leachability from metallo-organic sorbent-iron humate-with the aid of sequential extraction test*. Talanta.
- Kang, H.K., Shin, H.S., Park, H., (2002). *Characterization of humic substances present in landfill leachate with different landfills ages and its implications*. Water Research.

- Karthikeyan, Obuly P., Swati, M., Nagendran R., Kurian, Joseph. (2006). *Performance of bioreactor landfill with waste mined from a dumpsite*. Environmental Monitoring Assessment.
- Kiely, G. (1999). *Ingenieria Ambiental*. España: Mc Graw - Hill.
- Lagrange, B. (1979). *Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation*. Vol.2. Edisual Energies Alternatives.
- Lara, A. M. (2001). *Diseño estadístico de experimentos, análisis de la varianza*. Ed.: Proyecto Sur.
- López, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Manuel, C. Z. (2009). *Estadística Descriptiva e Inferencial*. Lima: Moshera S.R.L.
- Martí, N. (2006). *Phosphorus precipitation in Anarobic Digestion Process*. Boca Raton. Florida, USA.
- Méndez, R., Castillo, E., Sauri, M. R., Quintal, C., Germán, G., & Jiménez, B. (2004). *Tratamiento fisicoquímico de los lixiviados del relleno sanitario*. Ingeniería Revista Académica.
- Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y reutilización*. México: Mc. Graw Hill.
- MINAM. (2002). *Rellenos Sanitarios. Rellenos Sanitarios - Guía ambiental*, 130.
- MINAM. (2008). *Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual*. Lima.
- Novelo, R. M. (2004). *Tratamiento fisicoquímico de lixiviados del relleno sanitario*. Yucatán, México.
- Paxéus, N. (2000). *Organic compounds in municipal landfill leachate*. Water Science and Technology.
- Peñaloza, H. C. (s.f.). *Diseño y operación de rellenos sanitarios*. 4ta Edición.

- Pérez, R. (2015). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Colombia: Macro.
- Pesavento, M., Alberti, G., Biesuz, R. (2009). *Analytical methods for determination of free metal ion concentration, labile species fraction and metal complexation capacity of environmental waters: a review*. Analytica Chimica Acta.
- Pineda, S. (1998). *Manejo y disposición de residuos sólidos urbanos*. Panamericana formas e impresos.
- Primo, O. (2008). *Mejoras en el tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante procesos de oxidación avanzada* (Tesis doctoral). Universidad de Cantabria, Cantabria, España.
- Quispe, Y. A. (2010). *Evaluación del tratamiento de lixiviados del relleno sanitario de Ancon, mediante procesos de coagulación - Floculación y Sedimentación*, Lima.
- Ramallo, R. (1990). *Tratamiento de las Aguas Residuales*. España: Reverte.
- Renou, S. et al., (2008). *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. *Journal of hazardous materials*, Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17997033> [Accessed February 10, 2017].
- Romero, C. E. (2001). *Tecnología ambiental*. Trujillo: APLI GRAF S.R.L.
- Romero, J. A. (2009). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rull, A. S. (n.d.). *Evacuación de aguas residuales*. España: Marcombo ediciones técnicas.
- Rusell, D. L. (2012). *Tratamiento de aguas Residuales*. España: Reverté.
- Sancha, M. (2013). *Caracterización físicoquímica y microbiológica de un proceso de tratamiento de lixiviados de vertedero* (Tesis de maestría). Universidad de Oviedo, España.
- Silva, A. C. (2002). *Tratamiento de lixiviado de un relleno sanitario y evaluación de la toxicidad de efluente bruto y tratado*. Rio De Janeiro, Brasil.

- Steiner, M. Wiegel, U., (2008). *El libro de la basura / una guía básica para la gestión de residuos*. European Leonardo Da Vinci Project / Waste TRAINING. Madrid.
- Tchobanoglous, G., Theisen H. & Vigil, S. A. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid, España: DMcGraw-Hill.
- Terrence, J. M. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*: Lafayette College. Mc Graw Hill.
- Torres, P. et al (2005). *Tratamiento anaerobio de lixiviados en reactores UASB*. Ingeniería y desarrollo 18 de Julio de 2005 No 18. Ediciones Uninorte. Universidad del Norte, Barranquilla. ISSN 0122 – 3461.
- Valles, A. M. (2013). *Tratamiento fisicoquímico y biológico de lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Chihuahua* (Tesis de maestría). Centro de investigación en materiales avanzados, Chihuahua, México.
- Vargas, L. (2002). *Floculación*: OPS/CEPIS/PUB/02.76 Original. Lima.
- Vilar, A. (2015). *Evaluación del tratamiento integral del lixiviado de vertedero de residuos sólidos urbanos* (Tesis doctoral). Univeridade da Coruña, La Coruña, España.
- Villegas, M. P. (2014). *Purificación de Aguas*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Weng, L.P., Temminghoff, E.J.M., Loft S., Tipping, E., Van Riemsdijk, W.H. (2002). *Complexation with dissolved organic matter and solubility control of heavy metals in a sandy soil*. Environmental Science Technology.
- Yaya, R. (2011). *Tratamiento anaerobio del lixiviado proveniente de rellenos sanitarios*. Colombia.
- Zárate, Giraldo E. (2001). *Removal of hydrogen sulphide BOD from backish water using vertical flow wetlands in a Caribbean environment*. Wat. Sci: tch vol 44 N° IWA Publishing.
- Zaror, C. A. (n.d.). *Introducción a la Ingeniería ambiental para la industria de procesos*. Chile: Universidad de concepcion.

Anexo 1. Plano de ubicación del botadero municipal de la provincia de Moyobamba.



Anexo 02. Panel fotográfico de todo el proceso de investigación



Figura 41. Entrada al botadero municipal de la provincia de Moyobamba



Figura 42. Residuos orgánicos e inorgánicos.



Figura 43. Generación de lixiviado crudo.



Figura 44. Muestra de 208L.



Figura 45. Reciclaje informal



Figura 46. Planta de tratamiento a escala.



Figura 47. Sedimentador primario (tanque de 208L)



Figura 48. Lixiviado crudo en tanque



Figura 49. Aireador



Figura 50. Aireador y floculador



Figura 51. Muestras en crudo y con pre tratamiento



Figura 52. Reactivos utilizados para las pruebas



Figura 53. Preparación de solución de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$



Figura 54. Test de jarras



Figura 55. Resultado de medición

Anexo 03. Informe de laboratorio.



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

**ANÁLISIS DE AGUA
RESIDUAL
PROVENIENTE DE LOS
LIXIVIADOS DEL
BOTADERO
MUNICIPAL DE LA
PROVINCIA DE
MOYOBAMBA**

**REALIZADO POR:
ANAQUÍMICOS
SERVICIOS
GENERALES EIRL**

FEBRERO - 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140874
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

1. Resultados análisis de lixiviado crudo.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para el punto de muestreo en el mes de febrero los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO UTILIZADO |
|---------------------|------------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 432 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 14678 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 30987 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| Fósforo | mg/L | 0.88 | Colorimétrico |
| Sólidos totales | mg/L | 40553 | Gravimétricos |
| Sólidos disueltos | mg/L | 35927 | Gravimétricos |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 10945 | Gravimétricos |
| Arsénico | mg As/L | 0.438 | Espectrofotométrico |
| Cadmio | mg Cd/L | 0.212 | Espectrofotométrico |
| Hierro | mg Fe/L | 0.023 | Espectrofotométrico |
| Plomo | mg Pb/L | 0.302 | Espectrofotométrico |
| Zinc | mg Zn/L | 1.086 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.30 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.5 | Termómetro manual |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 850 | Tubos múltiples |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 440 | Tubos múltiples |

2. Resultados análisis de lixiviado luego de la primera etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Stánler Irigoín Vásquez, los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| DQO | mg/L | 15238 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| DBO ₅ | mg/L | 7850 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 395 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.00 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | Termómetro manual |

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140874
TITULAR GERENTE

3. Resultados análisis de lixiviado luego de la segunda etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Stánler Irigoín Vásquez, los que se indican en el siguiente cuadro:

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 578 | 473 | 660 | 241 | 310 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 380 | 310 | 351 | 220 | 405 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.05 | 4.05 | 4.05 | 4.05 | 4.05 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | Termómetro manual |

m_i : muestra i

Muestra tratada con cloruro férrico – pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 7412 | 2336 | 7110 | 2125 | 3928 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 536 | 800 | 550 | 580 | 605 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | Termómetro manual |

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 7260 | 6952 | 7354 | 5684 | 5243 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 421 | 385 | 410 | 380 | 512 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 7.1 | 7.1 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | Termómetro manual |

Muestra tratada con cloruro férrico – pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 7625 | 4928 | 7841 | 3985 | 4013 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 783 | 1139 | 962 | 750 | 941 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | 23.4 | Termómetro manual |

Moyobamba, 11 de febrero del 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140974
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

**ANÁLISIS DE AGUA
RESIDUAL
PROVENIENTE DE LOS
LIXIVIADOS DEL
BOTADERO
MUNICIPAL DE LA
PROVINCIA DE
MOYOBAMBA**

**REALIZADO POR:
ANAQUÍMICOS
SERVICIOS
GENERALES EIRL**

ABRIL - 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 144874
TITULAR GERENTE

1. Resultados análisis de lixiviado del botadero municipal de Moyobamba.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para el punto de muestreo en el mes de abril los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO UTILIZADO |
|---------------------|------------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 390 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 9120 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 12030 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| Fósforo | mg/L | 0.75 | Colorimétrico |
| Sólidos totales | mg/L | 32956 | Gravimétricos |
| Sólidos disueltos | mg/L | 29547 | Gravimétricos |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 8956 | Gravimétricos |
| Arsénico | mg As/L | 0.018 | Espectrofotométrico |
| Cadmio | mg Cd/L | 0.008 | Espectrofotométrico |
| Hierro | mg Fe/L | 0.034 | Espectrofotométrico |
| Plomo | mg Pb/L | 0.042 | Espectrofotométrico |
| Zinc | mg Zn/L | 0.584 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.14 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.6 | Termómetro manual |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 643 | Tubos múltiples |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 548 | Tubos múltiples |

2. Resultados análisis de lixiviado luego de la primera etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Junior Eduardo Zaldívar Díaz, los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| DQO | mg/L | 7562 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| DBO ₅ | mg/L | 3256 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 320 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.45 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | Termómetro manual |

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140874
TITULAR GERENTE

3. Resultados análisis de lixiviado de luego de la segunda etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Junior Eduardo Zaldívar Díaz, los que se indican en el siguiente cuadro:

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 985 | 843 | 412 | 125 | 124 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 291 | 283 | 195 | 180 | 312 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.6 | 23.6 | 23.6 | 23.6 | 23.6 | Termómetro manual |

m_i: muestra i

Muestra tratada con cloruro férrico – pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 2315 | 2564 | 2358 | 2069 | 1435 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 420 | 535 | 480 | 392 | 427 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.6 | 23.6 | 23.6 | 23.6 | 23.6 | Termómetro manual |

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 2110 | 2180 | 2045 | 952 | 983 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 406 | 314 | 348 | 304 | 423 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.5 | 23.5 | 23.5 | 23.5 | 23.5 | Termómetro manual |

Muestra tratada con cloruro férrico – pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 3014 | 3140 | 3560 | 3123 | 2410 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 510 | 652 | 634 | 410 | 840 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.5 | 23.5 | 23.5 | 23.5 | 23.5 | Termómetro manual |

Moyobamba, 08 de abril del 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140874
TITULAR GERENTE




ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

**ANÁLISIS DE AGUA
RESIDUAL
PROVENIENTE DE LOS
LIXIVIADOS DEL
BOTADERO
MUNICIPAL DE LA
PROVINCIA DE
MOYOBAMBA**

**REALIZADO POR:
ANAQUÍMICOS
SERVICIOS
GENERALES EIRL**

MAYO - 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140674
TITULAR GERENTE

1. Resultados análisis de lixiviado del botadero municipal de Moyobamba.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para el punto de muestreo en el mes de mayo los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|---------------------|------------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 310 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 3150 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 8300 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| Fósforo | mg/L | 0.96 | Colorimétrico |
| Sólidos totales | mg/L | 15982 | Gravimétricos |
| Sólidos disueltos | mg/L | 15842 | Gravimétricos |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 5453 | Gravimétricos |
| Arsénico | mg As/L | 0.140 | Espectrofotométrico |
| Cadmio | mg Cd/L | 0.045 | Espectrofotométrico |
| Hierro | mg Fe/L | 0.024 | Espectrofotométrico |
| Plomo | mg Pb/L | 0.098 | Espectrofotométrico |
| Zinc | mg Zn/L | 0.754 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 5.00 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 24.2 | Termómetro manual |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 795 | Tubos múltiples |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 898 | Tubos múltiples |

2. Resultados análisis de lixiviado luego de la primera etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Stánler Irigoín Vásquez, los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| DQO | mg/L | 4658 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| DBO ₅ | mg/L | 2254 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 289 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 5.23 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.4 | Termómetro manual |

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES E.I.R.L.


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140874
TITULAR GERENTE

3. Resultados análisis de lixiviado de luego de la segunda etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Stánler Irigoín Vásquez, los que se indican en el siguiente cuadro:

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 412 | 328 | 185 | 98 | 256 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 270 | 283 | 260 | 157 | 295 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | 4.15 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | Termómetro manual |

m_i: muestra i

Muestra tratada con cloruro férrico – pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 2080 | 1859 | 2014 | 1547 | 1824 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 324 | 590 | 385 | 450 | 416 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | 4.10 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | Termómetro manual |

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 1244 | 1165 | 1200 | 1052 | 1132 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 312 | 276 | 349 | 281 | 355 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | 7.4 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | Termómetro manual |

Muestra tratada con cloruro férrico – pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 2246 | 2305 | 2154 | 2184 | 3215 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 484 | 632 | 325 | 386 | 694 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | Termómetro manual |

Moyobamba, 13 de mayo del 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140874
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

**ANÁLISIS DE AGUA
RESIDUAL
PROVENIENTE DE LOS
LIXIVIADOS DEL
BOTADERO
MUNICIPAL DE LA
PROVINCIA DE
MOYOBAMBA**

**REALIZADO POR:
ANAQUÍMICOS
SERVICIOS
GENERALES EIRL**

JUNIO - 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140974
TITULAR GERENTE

1. Resultados análisis de lixiviado del botadero municipal de Moyobamba.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para el punto de muestreo en el mes de junio los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|---------------------|------------|------------|----------------------------------|
| Turbidez | NTU | 420 | Espectrofotométrico |
| DBO ₅ | mg/L | 6520 | Prueba de DBO 5 días |
| DQO | mg/L | 13256 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| Fósforo | mg/L | 1.23 | Colorimétrico |
| Sólidos totales | mg/L | 24563 | Gravimétricos |
| Sólidos disueltos | mg/L | 18327 | Gravimétricos |
| Sólidos suspendidos | mg/L | 8645 | Gravimétricos |
| Arsénico | mg As/L | 0.085 | Espectrofotométrico |
| Cadmio | mg Cd/L | 0.142 | Espectrofotométrico |
| Hierro | mg Fe/L | 0.033 | Espectrofotométrico |
| Plomo | mg Pb/L | 0.124 | Espectrofotométrico |
| Zinc | mg Zn/L | 0.713 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.53 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.6 | Termómetro manual |
| Coliformes totales | NMP/100 ml | 932 | Tubos múltiples |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 915 | Tubos múltiples |

2. Resultados análisis de lixiviado luego de la primera etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Stánler Irigoín Vásquez, los que se indican en el siguiente cuadro:

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|----------------------------------|
| DQO | mg/L | 3157 | Colorimétrico de reflujo cerrado |
| DBO ₅ | mg/L | 1338 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 320 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.86 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | Termómetro manual |

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL

Ing. Samuel López Chávez
CIP: N° 140074
TITULAR GERENTE



ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL
RUC: 20572240372

3. Resultados análisis de lixiviado de luego de la segunda etapa de tratamiento.

Se han tomado las mediciones, siendo los resultados para la muestra proporcionada por el señor Stánler Irigoín Vásquez, los que se indican en el siguiente cuadro:

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A – pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 258 | 422 | 314 | 110 | 250 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 304 | 275 | 214 | 154 | 311 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | Termómetro manual |

m_i : muestra i

Muestra tratada con cloruro férrico – pH ácido

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 1275 | 1356 | 1294 | 1480 | 1246 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 384 | 610 | 364 | 352 | 543 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.3 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | 23.2 | Termómetro manual |

Muestra tratada con sulfato de aluminio tipo A - pH neutro

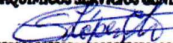
| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 1123 | 842 | 540 | 324 | 983 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 384 | 318 | 410 | 312 | 390 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | 7.2 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | Termómetro manual |

Muestra tratada con cloruro férrico – pH neutro

| PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADOS | | | | | MÉTODO |
|------------------|--------|------------|------|------|------|------|----------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | m4 | m5 | |
| DBO ₅ | mg/L | 1320 | 1309 | 1412 | 1350 | 1330 | Prueba de DBO 5 días |
| Turbidez | NTU | 594 | 652 | 398 | 387 | 756 | Espectrofotométrico |
| PH | --- | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | 7.3 | Potenciómetro |
| Temperatura | °C | 23.1 | 23.1 | 23.1 | 23.1 | 23.1 | Termómetro manual |

Moyobamba, 11 de junio del 2017

ANAQUÍMICOS SERVICIOS GENERALES EIRL


Ing. Samuel López Chávez
CIF: N° 140074
TITULAR GERENTE